Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по молодежной политике и
развитию образования
_____ А. В. Легостев
«14» ноября 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ВОСПИТАНИЯ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

для всех направлений подготовки и специальностей

СОГЛАСОВАНО
Председатель Объединенного совета
обучающихся ФГБОУ ВО «УГГУ»
(протокол № 25 от 15.11.2023)
_____ А. А. Кухарева

Председатель Первичной профсоюзной
организации ФГБОУ ВО «УГГУ»
(протокол № 5 от 24.10.2023)
_____ П. А.Коновалов

Председатель Совета родителей
ФГБОУ ВО «УГГУ»
(протокол № 3/1 от 04.10.2023
_____ В. А. Пивова

Составитель: начальник управления по внеучебной
и социальной работе Шехтман Д.А.

Екатеринбург

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Наименование программы

Рабочая программа воспитания ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» (далее – УГГУ, университет).

Рабочая программа воспитания ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» представляет собой ценностно-нормативную, методологическую, методическую и технологическую основы организации воспитательной деятельности.

Рабочая программа воспитания (далее – Программа) ориентирована на организацию воспитательной деятельности субъектов образовательного и воспитательного процессов.

Воспитательная работа в университете направлена на создание благоприятных условий для личностного и профессионального развития студенческой молодёжи, формирование профессиональных и общекультурных/универсальных компетенций, таких как гражданственность, трудолюбие, ответственность, организованность, самостоятельность, инициативность, дисциплинированность.

Разработчик и координатор программы

Управление по внеучебной и социальной работе.

Нормативно-правовые основания программы

- Конституция Российской Федерации;
- Федеральный закон от 29.12.2012 №273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»;
- Федеральный закон от 05.02.2018 № 15-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам добровольчества (волонтерства)»;
- Указ Президента Российской Федерации от 19.12. 2012 г. № 1666 «Стратегия государственной национальной политики Российской Федерации на период до 2025 года»;
- Указ Президента Российской Федерации от 24.12.2014 № 808 «Основы государственной культурной политики»;
- Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 № 203 «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы»;
- Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»;
- Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года»;
- Указ Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400 «Стратегия национальной безопасности Российской Федерации»;
- Указ Президента Российской Федерации от 09.11.2022 № 809 «Об утверждении основ государственной политики по сохранению и укреплению традиционных российских духовно-нравственных ценностей;
- Постановление Правительства Российской Федерации от 26.12.2017 № 1642 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие образования»;
- Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.11.2014 № 2403-р «Основы государственной молодежной политики Российской Федерации на период до 2025 года»;
- Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.05.2015 № 996-р «Стратегия развития воспитания в Российской Федерации на период до 2025 года»;
- Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.12.2018 № 2950-р «Концепция развития добровольчества (волонтерства) в Российской Федерации до 2025 года»;
- Распоряжение Правительства Российской Федерации от 12.11.2020 № 2945-р «Об утверждении Плана мероприятий по реализации в 2021-2025 годах Стратегии развития воспитания в Российской Федерации на период до 2025 года»;
- Устав ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет».

Сроки реализации программы - период реализации образовательной программы.

Ожидаемые результаты:

- исполнение положений Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» по вопросам воспитания обучающихся;
- реализация приоритетных направлений государственной молодежной политики по созданию условий для успешной социализации и эффективной самореализации обучающихся;
- привлечение к воспитательной работе в университете заинтересованных субъектов университетского сообщества;
- формирование у обучающихся духовных, социальных и профессиональных ценностей;
- обогащение личностного и социального опыта обучающихся;
- совершенствование форм и методов воспитательной работы;
- повышение степени вовлеченности обучающихся в организацию и проведение мероприятий воспитательного характера;
- совершенствование системы контроля и оценки воспитательной работы;
- расширение взаимодействия субъектов воспитательной работы с органами государственной власти и местного самоуправления, международными, всероссийскими, межрегиональными, региональными общественными объединениями, ключевыми стейкхолдерами;
- развитие традиций корпоративной культуры университета;
- повышение эффективности и качества реализуемых мероприятий;
- выпуск конкурентоспособных специалистов, обладающих высоким уровнем социально-личностных и профессиональных компетенций.

РАЗДЕЛ 1. ЦЕЛЕВОЙ

Воспитательная деятельность в университете, реализующем программы высшего и среднего профессионального образования, является одной из основных частей образовательного процесса, планируется и осуществляется в соответствии с приоритетами государственной политики в сфере воспитания.

Участниками образовательных отношений в части воспитания в университете являются:

- ректор;
- проректор по молодежной политике и развитию образования;
- начальник управления по внеучебной и социальной работе;
- заместители начальника управления по внеучебной и социальной работе;
- специалисты по социальной работе с молодежью;
- деканы факультетов;
- заведующие кафедрами;
- педагогические работники;
- академические кураторы;
- педагоги-психологи;
- члены Объединенного совета обучающихся;
- представители Совета родителей.

1.1 Цель и задачи воспитания обучающихся

Цель воспитания обучающихся ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» - развитие личности, создание условий для самоопределения и социализации на основе социокультурных, духовно-нравственных ценностей и принятых в российском обществе правил и норм поведения в интересах человека, семьи, общества и государства,

формирование у обучающихся чувства патриотизма, гражданственности, уважения к памяти защитников Отечества и подвигам Героев Отечества, закону и правопорядку, человеку труда и старшему поколению, взаимного уважения, бережного отношения к культурному наследию и традициям многонационального народа Российской Федерации, природе и окружающей среде.

Задачи воспитания:

– усвоение обучающимися знаний о нормах, духовно-нравственных ценностях, которые выработало российское общество (социально значимых знаний);

– формирование и развитие осознанного позитивного отношения к ценностям, нормам и правилам поведения, принятым в российском обществе (их освоение, принятие), современного научного мировоззрения, мотивации к труду, непрерывному личностному и профессиональному росту;

– приобретение социокультурного опыта поведения, общения, межличностных и социальных отношений, в том числе в профессионально ориентированной деятельности;

– подготовка к самостоятельной профессиональной деятельности с учетом получаемой квалификации (социально-значимый опыт) во благо своей семьи, народа, Родины и государства;

– подготовка к созданию семьи и рождению детей.

1.2 Направления воспитания

Рабочая программа воспитания УГГУ реализуется в единстве учебной и воспитательной деятельности с учётом направлений воспитания:

гражданское воспитание — формирование российской идентичности, чувства принадлежности к своей Родине, ее историческому и культурному наследию, многонациональному народу России, уважения к правам и свободам гражданина России; формирование активной гражданской позиции, правовых знаний и правовой культуры;

патриотическое воспитание — формирование чувства глубокой

привязанности к своей малой родине, родному краю, России, своему народу и многонациональному народу России, его традициям; чувства гордости за достижения России и ее культуру, желания защищать интересы своей Родины и своего народа;

духовно-нравственное воспитание — формирование устойчивых ценностно-смысловых установок, обучающихся по отношению к духовно-нравственным ценностям российского общества, к культуре народов России, готовности к сохранению, преумножению и трансляции культурных традиций и ценностей многонационального российского государства;

эстетическое воспитание — формирование эстетической культуры, эстетического отношения к миру, приобщение к лучшим образцам отечественного и мирового искусства;

физическое воспитание, формирование культуры здорового

образа жизни и эмоционального благополучия — формирование осознанного отношения к здоровому и безопасному образу жизни, потребности физического самосовершенствования, неприятия вредных привычек;

профессионально-трудовое воспитание — формирование позитивного и добросовестного отношения к труду, культуры труда и трудовых отношений, трудолюбия, профессионально значимых качеств личности, умений и навыков; мотивации к творчеству и инновационной деятельности; осознанного отношения к непрерывному образованию как условию успешной профессиональной деятельности, к профессиональной деятельности как средству реализации собственных жизненных планов;

экологическое воспитание — формирование потребности экологически целесообразного поведения в природе, понимания влияния социально-экономических процессов на состояние окружающей среды, важности рационального природопользования; приобретение опыта эколого-направленной деятельности;

ценности научного познания — воспитание стремления к познанию себя и других людей, природы и общества, к получению знаний, качественного образования с учётом личностных интересов

и общественных потребностей.

1.3 Целевые ориентиры воспитания

1.3.1 Инвариантные целевые ориентиры

Согласно «Основам государственной политики по сохранению и укреплению духовно-нравственных ценностей» (Указ Президента Российской Федерации от 09.11.2022 № 809) ключевым инструментом государственной политики в области образования, необходимым для формирования гармонично развитой личности, является воспитание в духе уважения к традиционным ценностям, таким как патриотизм, гражданственность, служение Отечеству и ответственность за его судьбу, высокие нравственные идеалы, крепкая семья, созидательный труд, приоритет духовного над материальным, гуманизм, милосердие, справедливость, коллективизм, взаимопомощь и взаимоуважение, историческая память и преемственность поколений, единство народов России.

В соответствии с Федеральным законом от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» воспитательная деятельность направлена на формирование у обучающихся чувства патриотизма, гражданственности, уважения к памяти защитников Отечества и подвигам Героев Отечества, закону и правопорядку, человеку труда и старшему поколению, взаимного уважения, бережного отношения к культурному наследию и традициям многонационального народа Российской Федерации, природе и окружающей среде».

Эти законодательно закрепленные требования в части формирования у обучающихся системы нравственных ценностей отражены в инвариантных целевых ориентирах воспитания выпускников университета и соотносятся с общими/универсальными компетенциями, формирование которых является результатом освоения образовательных программ в соответствии с требованиями федеральных государственных образовательных стандартов.

Инвариантные целевые ориентиры воспитания выпускников университета

Гражданское воспитание
– Осознанно выражающий свою российскую гражданскую принадлежность (идентичность) в поликультурном, многонациональном и многоконфессиональном российском обществе, в мировом сообществе. – Сознающий своё единство с народом России как источником власти и субъектом тысячелетней российской государственности, с российским государством, ответственность за его развитие в настоящем и будущем на основе исторического просвещения, российского национального исторического сознания. – Проявляющий гражданско-патриотическую позицию, готовность к защите Родины, способный аргументированно отстаивать суверенитет и достоинство народа России и российского государства, сохранять и защищать историческую правду. – Ориентированный на активное гражданское участие в социально-политических процессах на основе уважения закона и правопорядка, прав и свобод сограждан. – Осознанно и деятельно выражающий неприятие любой дискриминации по социальным, национальным, расовым, религиозным признакам, проявлений экстремизма, терроризма, коррупции, антигосударственной деятельности. – Обладающий опытом гражданской социально значимой деятельности (в студенческом самоуправлении, добровольческом движении, предпринимательской деятельности, экологических, военно-патриотических и др. объединениях, акциях, программах.
Патриотическое воспитание
– Осознающий свою национальную, этническую принадлежность, демонстрирующий приверженность к родной культуре, любовь к своему народу.

– Сознающий причастность к многонациональному народу Российской Федерации, Отечеству, общероссийскую идентичность. – Проявляющий деятельное ценностное отношение к историческому и культурному наследию своего и других народов России, их традициям, праздникам. – Проявляющий уважение к соотечественникам, проживающим за рубежом, поддерживающий их права, защиту их интересов в сохранении общероссийской идентичности.
Духовно-нравственное воспитание
– Проявляющий приверженность традиционным духовно-нравственным ценностям, культуре народов России с учётом мировоззренческого, национального, конфессионального самоопределения. – Проявляющий уважение к жизни и достоинству каждого человека, свободе мировоззренческого выбора и самоопределения, к представителям различных этнических групп, традиционных религий народов России, их национальному достоинству и религиозным чувствам с учётом соблюдения конституционных прав и свобод всех граждан. – Понимающий и деятельно выражающий понимание ценности межнационального, межрелигиозного согласия, способный вести диалог с людьми разных национальностей и вероисповеданий, находить общие цели и сотрудничать для их достижения. – Ориентированный на создание устойчивой семьи на основе российских традиционных семейных ценностей, рождение и воспитание детей и принятие родительской ответственности. – Обладающий сформированными представлениями о ценности и значении в отечественной и мировой культуре языков и литературы народов России.
Эстетическое воспитание
– Выражающий понимание ценности отечественного и мирового искусства, российского и мирового художественного наследия. – Проявляющий восприимчивость к разным видам искусства, понимание эмоционального воздействия искусства, его влияния на душевное состояние и поведение людей, умеющий критически оценивать это влияние. – Проявляющий понимание художественной культуры как средства коммуникации и самовыражения в современном обществе, значение нравственных норм, ценностей, традиций в искусстве. – Ориентированный на осознанное творческое самовыражение, реализацию творческих способностей, на эстетическое обустройство собственного быта, профессиональной среды.
Физическое воспитание, формирование культуры здоровья и эмоционального благополучия
– Понимающий и выражающий в практической деятельности понимание ценности жизни, здоровья и безопасности, значение личных усилий в сохранении и укреплении своего здоровья и здоровья других людей. – Соблюдающий правила личной и общественной безопасности, в том числе безопасного поведения в информационной среде. – Выражающий на практике установку на здоровый образ жизни (здоровое питание, соблюдение гигиены, режим занятий и отдыха, регулярную физическую активность), стремление к физическому совершенствованию. – Проявляющий сознательное и обоснованное неприятие вредных привычек (курения, употребления алкоголя, наркотиков, любых форм зависимостей), деструктивного поведения в обществе и цифровой среде, понимание их вреда для физического и психического здоровья. – Демонстрирующий навыки рефлексии своего состояния (физического, эмоционального, психологического), понимания состояния других людей. – Демонстрирующий и развивающий свою физическую подготовку, необходимую для избранной профессиональной деятельности, способности адаптироваться к стрессовым ситуациям в общении, в изменяющихся условиях (профессиональных, социальных, информационных, природных), эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях. – Использующий средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности.
Профессионально-трудовое воспитание

– Понимающий профессиональные идеалы и ценности, уважающий труд, результаты труда, трудовые достижения российского народа, трудовые и профессиональные достижения своих земляков, их вклад в развитие своего поселения, края, страны. – Участвующий в социально значимой трудовой и профессиональной деятельности разного вида в семье, образовательной организации, на базе производственной практики, в своей местности. – Выражающий осознанную готовность к непрерывному образованию и самообразованию в выбранной сфере профессиональной деятельности. – Понимающий специфику профессионально-трудовой деятельности, регулирования трудовых отношений, готовый учиться и трудиться в современном высокотехнологичном мире на благо государства и общества. – Ориентированный на осознанное освоение выбранной сферы профессиональной деятельности с учётом личных жизненных планов, потребностей своей семьи, государства и общества. – Обладающий сформированными представлениями о значении и ценности выбранной профессии, проявляющий уважение к своей профессии и своему профессиональному сообществу, поддерживающий позитивный образ и престиж своей профессии в обществе.
Экологическое воспитание
– Демонстрирующий в поведении сформированность экологической культуры на основе понимания влияния социально-экономических процессов на природу, в том числе на глобальном уровне, ответственность за действия в природной среде. – Выражающий деятельное неприятие действий, приносящих вред природе, содействующий сохранению и защите окружающей среды. – Применяющий знания из общеобразовательных и профессиональных дисциплин для разумного, бережливого производства и природопользования, ресурсосбережения в быту, в профессиональной среде, общественном пространстве. – Имеющий и развивающий опыт экологически направленной, природоохранной, ресурсосберегающей деятельности, в том числе в рамках выбранной специальности, способствующий его приобретению другими людьми.
Ценности научного познания
– Деятельно выражающий познавательные интересы в разных предметных областях с учётом своих интересов, способностей, достижений, выбранного направления профессионального образования и подготовки. – Обладающий представлением о современной научной картине мира, достижениях науки и техники, аргументированно выражающий понимание значения науки и технологий для развития российского общества и обеспечения его безопасности. – Демонстрирующий навыки критического мышления, определения достоверности научной информации, в том числе в сфере профессиональной деятельности. – Умеющий выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам. – Использующий современные средства поиска, анализа и интерпретации информации, информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности. – Развивающий и применяющий навыки наблюдения, накопления и систематизации фактов, осмысления опыта в естественнонаучной и гуманитарной областях познания, исследовательской и профессиональной деятельности.

1.3.2 Вариативные целевые ориентиры

Вариативные целевые ориентиры воспитания обучающихся университета сформулированы с учётом этнокультурных и региональных особенностей и не противоречат инвариантным целевым ориентирам.

Вариативные целевые ориентиры воспитания

Гражданское воспитание
– Осознающий себя членом общества на региональном и локальном уровнях, имеющим представление о родном крае как субъекте Российской Федерации.

– Демонстрирующий понимание значимости выбранной профессии для развития страны, проявляющий уважение к своей профессии и профессиональному сообществу. – Знающий и соблюдающий нормы профессиональной этики работника, поддерживающий благоприятный образ профессии в обществе. – Разделяющий традиционные российские ценности, проявляющий активную гражданскую позицию, готовый к защите Родины. – Знающий государственные устои и символику России, родного края, города, района и муниципальных образований. – Проявляющий нетерпимость к коррупционному поведению, умеющий принимать решения и нести за них ответственность. – Обладающий культурой межнационального общения в студенческой среде и обществе в целом. – Проявляющий уважительное отношение к национальному достоинству людей, их чувствам, религиозным убеждениям.
Патриотическое воспитание
– Понимающий свою сопричастность к прошлому, настоящему и будущему родного края, своей Родины — России, Российского государства. – Понимающий значение гражданских символов (государственная символика России, своего региона), праздников, мест почитания героев и защитников Отечества, проявляющий к ним уважение. – Изучающий и владеющий знаниями по истории родного края и своей малой родины.
Духовно-нравственное воспитание
– Уважающий духовно-нравственную культуру своей семьи, своего народа, семейные ценности с учётом национальной, религиозной принадлежности. – Сознающий ценность каждой человеческой жизни, признающий индивидуальность и достоинство каждого человека. – Умеющий оценивать поступки с позиции их соответствия нравственным нормам, осознающий ответственность за свои поступки.
Эстетическое воспитание
– Проявляющий ценностное отношение к культуре и искусству, к культуре речи и культуре поведения, к красоте и гармонии. – Обладающий знаниями о культурном наследии родного края. – Способный воспринимать и чувствовать прекрасное в быту, природе, искусстве, творчестве людей, профессиональном мастерстве. – Проявляющий стремление к самовыражению в разных видах художественной деятельности, искусстве, профессиональной деятельности.
Физическое воспитание, формирование культуры здоровья и эмоционального благополучия
– Владеющий знаниями о физической культуре и спорте, их истории, современном развитии в родном крае. – Ведущий и пропагандирующий здоровый образ жизни. – Проявляющий интерес к самообучению умениям и навыкам физкультурно-оздоровительной и спортивно-оздоровительной деятельности. – Бережно относящийся к физическому здоровью, соблюдающий основные правила здорового и безопасного для себя и других людей образа жизни, в том числе в информационной среде. – Владеющий основными навыками личной и общественной гигиены, безопасного поведения в быту, природе, обществе. – Ориентированный на физическое развитие с учётом возможностей здоровья, занятия физкультурой и спортом
Профессионально-трудовое воспитание
– Проявляющий уважение к труду, людям труда, бережное отношение к результатам труда, ответственное потребление. – Проявляющий интерес к разным профессиям. – Участвующий в различных видах трудовой деятельности.

– Владеющий комплексом знаний, умений и навыков, качеств личности, обеспечивающих возможность профессионального роста. – Обладающий основами экономической культуры и финансовой грамотности.
Экологическое воспитание
– Понимающий ценность природы, зависимость жизни людей от природы, влияние людей на природу, окружающую среду. – Выражающий готовность в своей профессиональной деятельности придерживаться экологических норм. – Содействующий сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действующий в чрезвычайных ситуациях. – Демонстрирующий экологическую культуру. – Проявляющий интерес к экологической обстановке в родном крае, вносящий свой вклад в ее улучшение.
Ценности научного познания
– Ориентированный на ценности непрерывного образования, в том числе и на самообразование. – Проявляющий интерес к участию в поисковой и исследовательской деятельности, техническому творчеству.

РАЗДЕЛ 2. СОДЕРЖАТЕЛЬНЫЙ

2.1 Уклад университета

Уральский государственный горный университет был учрежден 3 (16) июля 1914 года законом, утвержденным российским Императором Николаем II, как Екатеринбургский горный институт, который стал первым высшим учебным заведением на Урале.

Собранием Узаконений и Распоряжений Правительства, издаваемым при Правительствующем Сенате, от 27 января 1917 г. № 28 горный институт в городе Екатеринбурге был переименован в Уральский горный институт Императора Николая II, который приказом Главного управления учебными заведениями Народного Комиссариата тяжелой промышленности СССР от 18 декабря 1934 г. № 26/644 переименован в Свердловский горный институт, которому постановлением Совета Министров СССР от 13 января 1947 г, № 52 присвоено имя В.В. Вахрушева.

Указом Президиума Верховного Совета СССР от 12 мая 1969 года Свердловский горный институт им. В.В. Вахрушева был переименован в Свердловский ордена Трудового Красного Знамени горный институт им. В.В. Вахрушева, который распоряжением Совета Министров РСФСР от 10 июля 1991 г. № 736-р и приказом Государственного Комитета СССР по народному образованию от 22 июля 1991 г. № 346 был переименован в Уральский ордена Трудового Красного Знамени горный институт имени В.В. Вахрушева, переименованный приказом Государственного Комитета Российской Федерации по высшему образованию от 28 октября 1993 г. № 298 в Уральскую государственную горно-геологическую академию.

11 февраля 2003 года Уральская государственная горно-геологическая академия была внесена в Единый государственный реестр юридических лиц как государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Уральская государственная горно-геологическая академия, которое приказом Федерального агентства по образованию от 5 октября 2004 г. № 156 было переименовано в государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный горный университет».

Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 23 мая 2011 г. № 1724 государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный горный университет» переименовано в федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального

образования «Уральский государственный горный университет», которое приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 29 октября 2015 г. №1261 переименовано в федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет».

За 106 лет своей деятельности вуз подготовил для работы на горнодобывающих и геологоразведочных предприятиях, в научно-исследовательских и проектно-конструкторских институтах отрасли более 110 000 горных инженеров, талантом и трудом которых создавался Уральский горнопромышленный комплекс.

В 2024 году УГГУ - первый вуз Урала празднует 110 лет со дня учреждения.

Университет реализует программы высшего, среднего профессионального, дополнительного и послевузовского профессионального образования в области геологии, геофизики, горного дела, экологии, экономики, информатики, автоматизации, горного машиностроения, художественного проектирования и обработки материалов.

В университете представлены все уровни высшего образования: бакалавриат, специалитет, магистратура и аспирантура.

В университете обучаются около 10 000 студентов.

Отличительной особенностью университета являются сильные связи с производством. Вуз сотрудничает более чем с 300 предприятиями – партнерами со всей России, в их числе — крупнейшие компании горнодобывающей отрасли. Подписаны договоры о совместной работе в рамках подготовки кадров с крупнейшими отраслевыми предприятиями страны и региона: Русской медной компанией, Уральской горно-металлургической компанией, Уралмашзаводом, ЕВРАЗ-холдингом и др. Ведется системная подготовка специалистов для предприятий зарубежных стран: Китая, Гвинеи, Македонии, Узбекистана, Таджикистана, Туркменистана, Монголии, Казахстана и др.

Университет славится своим сильным профессорско-преподавательским составом. На 38 кафедрах работают более 350 педагогических работников, из них более 250 кандидатов наук, порядка 60 докторов наук.

Вековая история позволила университету создать не только мощные образовательные традиции, но и научные школы. Их коллективы регулярно участвуют в масштабных государственных программах. С 1976 г. в диссертационных советах вуза защищено свыше 750 диссертаций.

В университете выпускается два журнала, внесенных Высшей аттестационной комиссией в Перечень научных журналов, публикация в которых является обязательной для защиты диссертаций.

Студенты вуза регулярно побеждают на Всероссийских олимпиадах и инженерных соревнованиях. Горняки трижды становились триумфаторами Международного чемпионата по решению инженерных кейсов «Case-In». Свыше сорока студентов УГГУ каждый год удостаиваются стипендий Президента РФ, Правительства РФ и Губернатора Свердловской области. Одним из знаковых научных мероприятий УГГУ является Уральская горнопромышленная декада. Сотни специалистов из России и зарубежных стран ежегодно приезжают в Горный университет, чтобы обсудить актуальные вопросы отрасли и найти партнеров для решения производственных задач.

В университете есть свои корпоративные знаки отличия – это герб, гимн, флаг и форменная одежда, которые используются при проведении мероприятий в масштабах университета, городского, регионального и всероссийского уровней с целью формирования корпоративного сознания у обучающихся.

Наиболее значимыми традиционными мероприятиями, событиями, составляющими основу воспитательной системы, являются День знаний, День солидарности в борьбе с терроризмом, День первокурсника, День Героев Отечества, День матери, День студента, День защитников Отечества, конкурс красоты «Мисс и Мистер Горный университет» и многие другие.

2.2 Воспитательные модули: виды, формы, содержание воспитательной деятельности

Модуль «Образовательная деятельность»

Реализация воспитательного потенциала образовательной деятельности предусматривает:

– использование воспитательных возможностей содержания учебных дисциплин и профессиональных модулей для формирования у обучающихся позитивного отношения к российским традиционным духовно-нравственным и социокультурным ценностям, подбор соответствующего тематического содержания, текстов для чтения, задач для решения, проблемных ситуаций для обсуждений и т. п., отвечающих содержанию и задачам воспитания;

– привлечение внимания обучающихся к ценностному аспекту изучаемых на аудиторных занятиях объектов, явлений, событий и т. д., инициирование обсуждений, высказываний обучающимися своего мнения, выработки личностного отношения к изучаемым событиям, явлениям;

– использование учебных материалов (образовательного контента, художественных фильмов, литературных произведений и проч.), способствующих повышению статуса и престижа рабочих профессий, прославляющих трудовые достижения, повествующих о семейных трудовых династиях;

– инициирование и поддержка исследовательской деятельности при изучении учебных дисциплин и профессиональных модулей в форме индивидуальных и групповых проектов, исследовательских работ воспитательной направленности;

– реализация курсов, дополнительных факультативных занятий исторического просвещения, патриотической, гражданской, экологической, научно-познавательной, краеведческой, историко-культурной, туристско-краеведческой, спортивно-оздоровительной, художественно-эстетической, духовно-нравственной направленности, а также курсов, направленных на формирование готовности обучающихся к вступлению в брак и осознанному родительству;

– организация и проведение экскурсий (в музеи, картинные галереи, технопарки, на предприятия и др.), экспедиций, походов.

Модуль «Кураторство»

Реализация воспитательного потенциала кураторства как особого вида педагогической деятельности, направленной в первую очередь на решение задач воспитания и социализации обучающихся, предусматривает:

– организацию социально-значимых совместных проектов, отвечающих потребностям обучающихся, дающих возможности для их самореализации, установления и укрепления доверительных отношений внутри учебной группы и между группой и куратором;

– сплочение коллектива группы через игры и тренинги на командообразование, походы, экскурсии, празднования дней рождения, тематические вечера и т. п.;

– организацию и проведение регулярных родительских собраний, информирование родителей об академических успехах и проблемах обучающихся, их положении в студенческой группе, о жизни группы в целом; помощь родителям и иным членам семьи во взаимодействии с педагогическим коллективом и администрацией;

– работа со студентами, вступившими в ранние семейные отношения, проведение консультаций по вопросам этики и психологии семейной жизни, семейного права;

– планирование, подготовку и проведение праздников, фестивалей, конкурсов, соревнований и т. д. с обучающимися.

Модуль «Наставничество»

Реализация воспитательного потенциала наставничества как универсальной технологии передачи опыта и знаний предусматривает:

– разработку программы наставничества;

– содействие осознанному выбору оптимальной образовательной траектории, в том числе для обучающихся с особыми потребностями (детей с инвалидностью и ограниченными возможностями здоровья, одаренных, обучающихся, находящихся в трудной жизненной ситуации);

– оказание психологической и профессиональной поддержки наставляемому в реализации им индивидуального маршрута и в жизненном самоопределении;

– определение инструментов оценки эффективности мероприятий по адаптации и стажировке наставляемого;

– привлечение к наставнической деятельности признанных авторитетных специалистов, имеющих большой профессиональный и жизненный опыт (работников предприятий и организаций-партнеров).

Модуль «Основные воспитательные мероприятия»

Реализация воспитательного потенциала основных воспитательных мероприятий предусматривает:

– проведение общих для всей образовательной организации праздников, ежегодных творческих (театрализованных, музыкальных, литературных и т. п.) мероприятий, связанных с общероссийскими, региональными, местными праздниками, памятными датами;

– проведение торжественных мероприятий, связанных с завершением образования, переходом на следующий курс, а также совместных мероприятий с организациями-партнерами, направленных на знакомство и приобщение к корпоративной культуре предприятия, организации;

– разработку и реализацию обучающимися социальных, социально-профессиональных проектов, в том числе с участием социальных партнёров университета;

– организацию тематических мероприятий, нацеленных на формирование уважительного отношения к противоположному полу, понимания любви как основы таких отношений и готовности к вступлению в брак (День матери, День семьи, любви и верности и т. д.);

Модуль «Организация предметно-пространственной среды»

Реализация воспитательного потенциала предметно-пространственной среды предусматривает совместную деятельность педагогов, обучающихся, других участников образовательных отношений по её созданию, поддержанию, использованию в воспитании:

– организация в доступных для обучающихся и посетителей местах музейно-выставочного пространства, содержащего экспозиции об истории и развитии университета с использованием исторических символов государства, региона, местности в разные периоды, о значимых исторических, культурных, природных, производственных объектах России, региона, местности;

– размещение карт России, регионов, муниципальных образований (современных и исторических, точных и стилизованных, географических, природных, культурологических, художественно оформленных, в том числе материалами, подготовленными обучающимися) с изображениями значимых культурных объектов своей местности, региона, России; портретов выдающихся государственных деятелей России, деятелей культуры, науки, производства, искусства, военных деятелей, героев и защитников Отечества;

– размещение, обновление художественных изображений (символических, живописных, фотографических, интерактивных) объектов природного и культурного наследия региона, местности, предметов традиционной культуры и быта;

– организацию и поддержание в университете звукового пространства позитивной духовно-нравственной, гражданско-патриотической воспитательной направленности (звонки-мелодии, музыка, информационные сообщения), исполнение гимна Российской Федерации (в начале учебной недели);

– оформление и обновление «мест новостей», стендов в помещениях общего пользования (холл первого этажа, рекреации и др.), содержащих в доступной, привлекательной форме новостную информацию позитивного профессионального, гражданско-патриотического, духовно-нравственного содержания;

– размещение материалов, отражающих ценность труда как важнейшей нравственной категории, представляющих трудовые достижения в профессиональной области, прославляющих героев и ветеранов труда, выдающихся деятелей производственной сферы, имеющей отношение к УГГУ, предметов-символов профессиональной сферы, размещение информационных справочных материалов о предприятиях профессиональной сферы, имеющих отношение к профилю университета;

– размещение, поддержание, обновление на территории университета выставочных объектов, ассоциирующихся с профессиональными направлениями обучения;

– создание и обновление книжных выставок профессиональной литературы, пространства свободного книгообмена;

– оборудование, оформление, поддержание и использование спортивных и игровых пространств, площадок, зон активного и спокойного отдыха;

– совместная с обучающимися популяризация символики УГГУ (флаг, гимн, эмблема, логотип и т. п.), используемой как повседневно, так и в торжественных ситуациях;

– разработка и обновление материалов (стендов, плакатов, инсталляций и др.), акцентирующих внимание обучающихся на важных для воспитания правилах, традициях, укладе образовательной организации, актуальных вопросах профилактики и безопасности.

Модуль «Взаимодействие с родителями (законными представителями)»

Реализация воспитательного потенциала взаимодействия с родителями (законными представителями) обучающихся предусматривает:

– организацию взаимодействия между родителями обучающихся и преподавателями, администрацией в области воспитания и профессиональной реализации студентов;

– проведение родительских собраний по вопросам воспитания, взаимоотношений обучающихся и педагогов, условий обучения и воспитания;

– привлечение родителей к подготовке и проведению мероприятий воспитательной направленности.

Модуль «Самоуправление»

Реализация воспитательного потенциала самоуправления обучающихся в университете, реализующем образовательные программы высшего и среднего профессионального образования, предусматривает:

– организацию и деятельность в университете органов самоуправления обучающихся (совет обучающихся и др.);

– представление органами самоуправления интересов обучающихся в процессе управления образовательной организацией, защита законных интересов, прав обучающихся;

– участие представителей органов самоуправления обучающихся в разработке, обсуждении и реализации рабочей программы воспитания, в анализе воспитательной деятельности;

– привлечение к деятельности студенческого самоуправления выпускников, работающих по специальности, добившихся успехов в профессиональной деятельности и личной жизни.

Модуль «Профилактика и безопасность»

Реализация воспитательного потенциала профилактической деятельности в целях формирования и поддержки безопасной и комфортной среды предусматривает:

– организацию деятельности педагогического коллектива по созданию в университете безопасной среды как условия успешной воспитательной деятельности;

– вовлечение обучающихся в проекты, программы профилактической направленности, реализуемые в УГГУ и в социокультурном окружении (антинаркотические, антиалкогольные, против курения, вовлечения в деструктивные детские и молодёжные объединения, культы, субкультуры, группы в социальных сетях; по безопасности в цифровой среде, на транспорте, на воде, безопасности дорожного движения, противопожарной безопасности, антитеррористической и антиэкстремистской безопасности, гражданской обороне и т. д.);

– сбор информации и регулярный мониторинг семей обучающихся, находящихся в сложной жизненной ситуации, профилактическая работа с неблагополучными семьями;

– организация психолого-педагогической поддержки обучающихся групп риска;

– организацию работы по развитию у обучающихся навыков саморефлексии, самоконтроля, устойчивости к негативному воздействию, групповому давлению;

– поддержку инициатив обучающихся, педагогов в сфере укрепления безопасности жизнедеятельности.

Модуль «Социальное партнёрство и участие работодателей»

Реализация воспитательного потенциала социального партнёрства университетом, реализующем образовательные программы высшего и среднего профессионального образования, в том числе во взаимодействии с предприятиями рынка труда, предусматривает:

– участие представителей организаций-партнёров, предприятий (организаций) и работодателей, в том числе в соответствии с договорами о сотрудничестве, в проведении отдельных производственных практик и мероприятий в рамках рабочей программы воспитания и календарного плана воспитательной работы (дни открытых дверей, ярмарки вакансий, государственные, региональные праздники, торжественные мероприятия и т. п.);

– участие представителей организаций-партнёров в проведении мастер-классов, аудиторных и внеаудиторных занятий, мероприятий профессиональной направленности;

– проведение на базе организаций-партнёров отдельных аудиторных и внеаудиторных занятий, презентаций, лекций, акций воспитательной направленности;

– проведение открытых дискуссионных площадок (студенческих, педагогических, родительских, совместных), куда приглашаются представители организаций-партнёров, на которых обсуждаются актуальные проблемы, касающиеся профессиональной сферы и рынка труда, жизни университета, муниципального образования, региона, страны;

– реализация социальных проектов, разрабатываемых и реализуемых обучающимися и педагогами совместно с организациями-партнёрами (профессионально-трудовой, благотворительной, экологической, патриотической, духовно-нравственной и т. д. направленности), ориентированных на воспитание обучающихся, преобразование окружающего социума, позитивное воздействие на социальное окружение.

Модуль «Профессиональное развитие, адаптация и трудоустройство»

Реализация воспитательного потенциала работы по профессиональному развитию, адаптации и трудоустройству в университете предусматривает:

– участие в конкурсах, фестивалях, олимпиадах профессионального мастерства (в т. ч. международных), работе над профессиональными проектами различного уровня (регионального, всероссийского, международного) и др.;

– циклы мероприятий, направленных на подготовку обучающихся к осознанному планированию своей карьеры, профессионального будущего (посещения центра содействия профессиональному трудоустройству выпускников, профессиональных выставок, ярмарок вакансий, дней открытых дверей на предприятиях и др.);

– экскурсии (на предприятия, в организации), дающие углублённые представления о выбранной специальности и условиях работы;

– организацию мероприятий, посвященных истории организаций/предприятий-партнёров; встреч с представителями коллективов, с работниками-стажистами, представителями трудовых династий, авторитетными специалистами, героями и ветеранами труда, представителями профессиональных династий;

– использование обучающимися интернет-ресурсов, способствующих более глубокому изучению отраслевых технологий, способов и приёмов профессиональной деятельности, профессионального инструментария, актуального состояния профессиональной области; онлайн курсов по интересующим темам и направлениям профессионального образования;

– консультирование обучающихся по вопросам построения ими профессиональной карьеры и планов на будущую жизнь с учётом индивидуальных особенностей, интересов, потребностей;

– проведение тренингов, нацеленных на формирование рефлексивной культуры, совершенствование умений в области анализа и оценки результатов деятельности.

Дополнительные модули

Модуль «Воспитание здорового образа жизни»

Реализация воспитательного потенциала работы по созданию условий для сохранения, укрепления и развития духовного, эмоционального, интеллектуального, личностного и физического здоровья обучающихся предусматривает:

– воспитание здоровой личности, формирование способности ставить цели и строить жизненные планы;

– формирование у обучающихся ответственного отношения к своему здоровью и потребности в здоровом образе жизни, физическом самосовершенствовании, занятиях спортивно-оздоровительной деятельностью, развитие культуры безопасной жизнедеятельности, профилактику наркотической и алкогольной зависимости, табакокурения и других вредных привычек;

– формирование бережного, ответственного и компетентного отношения к физическому и психологическому здоровью – как собственному, так и других людей, развитие культуры здорового питания.

Модуль «Художественно-эстетическое воспитание»

Реализация воспитательного потенциала работы по формированию культурно-эстетических взглядов, нравственных принципов обучающихся, повышению общего уровня культуры, формированию способности воспринимать и понимать произведения искусства во взаимосвязи с окружающим миром предусматривает:

– воспитание эстетического отношения к миру, включая эстетику быта, научного и технического творчества, спорта, общественных отношений;

– формирование способности к общему развитию, реализации творческого потенциала в учебной, профессиональной деятельности, самовоспитания и универсальной духовно-нравственной компетенции – «становиться лучше»;

– формирование чувства любви к Родине на основе изучения культурного наследия многонационального народа России;

– формирование художественно-эстетического мировоззрения, основанного на диалоге культур.

Модуль «Экологическое воспитание»

Реализация воспитательного потенциала работы по формированию экологической культуры, содействию сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, воспитанию и развитию у обучающихся любви к окружающей природе предусматривает:

– развитие у обучающихся экологической культуры, бережного отношения к родной земле, природным богатствам России и мира, понимание влияния социально-экономических процессов на состояние природной и социальной среды;

– воспитание чувства ответственности за состояние природных ресурсов, формирование умений и навыков разумного природопользования, нетерпимого отношения к действиям, приносящим вред экологии; приобретение опыта эколого-направленной деятельности.

Модуль «Волонтерское движение»

Реализация воспитательного потенциала работы по формированию готовности к добровольчеству (волонтёрству) предусматривает:

– развитие навыков волонтерской деятельности через участие в подготовке и проведении социально-значимых мероприятий;

– развитие мотивации к активному и ответственному участию в общественной жизни страны, региона, университета, государственному управлению через организацию добровольческой деятельности;

– развитие способностей к сопереживанию и формированию позитивного отношения к людям, в том числе к лицам с инвалидностью и ограниченными возможностями здоровья;

– развитие компетенций сотрудничества со сверстниками, детьми младшего возраста, взрослыми в образовательной, общественно полезной, учебно-исследовательской, проектной и других видах деятельности.

РАЗДЕЛ 3. ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ

3.1 Кадровое обеспечение

Реализация рабочей программы воспитания осуществляется квалифицированными специалистами университета, в частности Управления по внеучебной и социальной работе, которое несёт ответственность за организацию воспитательной работы в университете; Студенческого культурного центра, Студенческого спортивного клуба «Горная машина», Студенческого центра патриотического воспитания «Святогор», Волонтерского центра УГГУ, которые проводят с обучающимися мероприятия воспитательного характера; психолого-педагогической службы, кураторами, педагогом-психологом, преподавателями, функционал которых регламентируется требованиями профессиональных стандартов, должностными инструкциями и иными нормативными документами.

3.2 Нормативно-методическое обеспечение

Нормативно-методическое обеспечение воспитательной деятельности осуществляется следующим образом: воспитательная деятельность ведется в соответствии с нормативно-правовыми документами федеральных органов исполнительной власти в сфере образования, требованиями федеральных государственных образовательных стандартов, Уставом университета и локальными актами университета с учетом сложившегося опыта воспитательной деятельности, и имеющимися ресурсами в университете.

3.3 Требования к условиям работы с обучающимися с особыми образовательными потребностями

В воспитательной работе с категориями обучающихся, имеющих особые образовательные потребности: обучающиеся с инвалидностью, ограниченными возможностями здоровья, из социально уязвимых групп (воспитанники детских домов, обучающиеся из семей мигрантов, билингвы и др.), одарённые, с отклоняющимся поведением, создаются особые условия.

В системе организации воспитательной деятельности с категориями обучающихся, имеющих особые образовательные потребности, устанавливаются сотрудничество препо-

давателей, кураторов, педагогов-психологов, родителей (законных представителей) обучающихся с целью устранения нарушенных функций, развития функциональных систем обучающихся, коррекции поведения, формирования социально-значимых качеств.

При организации воспитательного пространства создаются благоприятные условия для развития социально значимых отношений обучающихся, и, прежде всего, ценностных отношений к семье, труду, своему отечеству, своей малой и большой Родине, природе, миру, знаниям, культуре, здоровью, окружающим людям, к самим.

Формирование доброжелательного отношения к обучающимся, имеющим особые образовательные потребности и их семьям со стороны всех участников образовательных отношений, а также индивидуальный подход позволяет получить им необходимые социальные навыки, знания и умения необходимые для дальнейшей профессиональной деятельности.

При организации воспитания обучающихся с особыми образовательными потребностями осуществляется ориентация на:

– налаживание эмоционально-положительного взаимодействия с окружающими для их успешной социальной адаптации и интеграции как в университете, так и в профессиональной деятельности;

– формирование доброжелательного отношения к обучающимся и их семьям со стороны всех участников образовательных отношений;

– построение воспитательной деятельности с учётом индивидуальных особенностей и возможностей каждого обучающегося;

– обеспечение психолого-педагогической поддержки семей обучающихся, содействие повышению уровня их педагогической, психологической, социальной компетентности;

– формирование личности обучающегося с особыми образовательными потребностями с использованием адекватных физическому и психическому состоянию методов воспитания;

– создание оптимальных условий совместного воспитания и обучения обучающихся с особыми образовательными потребностями и их сверстников, с использованием адекватных вспомогательных средств и педагогических приёмов, организацией совместных форм работы с педагогом-психологом и другими специалистами университета;

– личностно-ориентированный подход в организации всех видов деятельности обучающихся с особыми образовательными потребностями.

3.4 Система поощрения профессиональной успешности и проявлений активной жизненной позиции обучающихся

Поощрение профессиональной успешности и проявлений активной жизненной позиции обучающихся осуществляется следующим образом:

– выплачивается повышенная государственная академическая стипендия;

– предоставляются путевки на летний отдых и оздоровление;

– представляются кандидатуры обучающихся на стипендию Правительства Российской Федерации;

– представляются кандидатуры обучающихся на стипендию Губернатора Свердловской области;

– вручаются благодарственные письма, письма участников.

Основания для поощрения обучающихся:

– успехи в учебной деятельности;

– успехи научной деятельности;

– успехи в культурно-творческой деятельности;

– успехи в общественной деятельности;

– успехи в физкультурной деятельности;

– победы в конкурсах, олимпиадах, фестивалях, соревнованиях различного уровня;

– активное участие в культурно-массовых мероприятиях на уровне университета, округа, региона, Российской Федерации, на международном уровне;

– спортивные достижения на различных уровнях.

3.5 Анализ воспитательного процесса

Основные направления анализа воспитательного процесса:

3.5.1 Анализ условий воспитательной деятельности

Анализ воспитательной деятельности проводится по следующим позициям:

– кадровое обеспечение воспитательной деятельности (наличие специалистов, прохождение курсов повышения квалификации);

– наличие и количество студенческих объединений, клубов, предметных кружков, кружков технического творчества, спортивных секций и кружков;

– количество социальных партнеров, вовлечённых в воспитательную деятельность (предприятия, учреждения культуры, здравоохранения, правоохранительные органы, образовательные организации др.);

– участие педагогических работников университета в конкурсах, семинарах, конференциях, вебинарах по направлениям воспитательной деятельности;

– оформление предметно-пространственной среды университета.

3.5.2 Анализ состояния воспитательной деятельности

Анализ состояния воспитательной деятельности проводится по следующим позициям:

– проводимые в университете дела и реализованные проекты;

– уровень вовлеченности обучающихся в проекты и мероприятия на уровне университета, районном, городском, региональном и федеральном уровнях;

– включенность обучающихся и преподавателей в деятельность различных объединений;

– участие обучающихся в конкурсах различного уровня и направленности;

– профессионально-личностное развитие обучающихся (анализ портфолио);

– снижение негативных факторов (уменьшение числа обучающихся, состоящих на различных видах профилактического учета/контроля, снижение/отсутствие совершенных правонарушений и преступлений).

Основным способом получения информации являются: педагогическое наблюдение, анкетирование, тестирование, беседы с обучающимися и их родителями (законными представителями), педагогическими работниками, представителями студенческого совета.

Анализ проводится проректором по молодежной политике и развитию образования, начальником управления по внеучебной и социальной работе, педагогом-психологом, кураторами академических групп.

Итогом самоанализа является перечень выявленных проблем, над решением которых предстоит работать коллективу университета.

Приложение к рабочей программе воспитания

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по молодежной политике и развитию образования
_____ А. В. Легостев

14.11.2024

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН ВОСПИТАТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ
на 2024-2025 учебный год

В ходе планирования воспитательной деятельности университет учитывает воспитательный потенциал участия обучающихся в мероприятиях, проектах, конкурсах, акциях, проводимых на уровне:

Российской Федерации, в том числе:

«
Р «Большая перемена» https://bolshayaperemena.online/;
о «Лидеры России» https://лидерыроссии.рф/;
с «Мы Вместе» (волонтерство) https://onf.ru;
с отраслевые конкурсы профессионального мастерства;
и движения «Ворлдскиллс Россия»;
я движения «Абилимпикс»;

субъектов Российской Федерации, а также **отраслевые профессионально значимые события и праздники.**

№	Модуль	Курсы, группы	Сроки	Ответственные
	1. Образовательная деятельность			
1	Дисциплина «Основы российской государственности	I,II,III	01.09.2024-31.05.2025	Зубов В. В.
	2. Кураторство			
1	Воспитательное мероприятие «Час куратора»	I	01.09.2024-31.05.2025	Шехтман Д. А.
	3. Наставничество			
1	Подготовка и проведение адаптационного мероприятия «Неделя первокурсника 2024»	I	30.08.2024 - 04.09.2024	Шехтман Д. А.
	4. Основные воспитательные мероприятия			
1	Презентация студенческих общественных, спортивных, научных, творческих объединений	I	30.08.2024-04.09.2024	Шехтман Д. А.
2	Профориентационные мероприятия для студентов I курса	I	12.08.2024-17.08.2024	Коновалов П. А.
3	Спортивно-массовое мероприятие «Неделя футбола» и межнациональный футбольный турнир к Дню народного единства	I-V	01.11.2024-05.11.2024	Сухомлин С. Д.
4	Культурно-массовое мероприятие «Новогодний ректорский прием»	I-V	23.12.2024	Нижников Е. В.
5	Празднование дня Российского студенчества, Молебен святой мученице Татьяне	I-V	25.01.2025	Бачинин И. В.
6	Организация игры «Патриот»	I-V	19.02.2025-23.02.2025	Комаров А. А.
7	Праздничный концерт «День защитника отечества»	I-V	22.02.2025	Нижников Е. В.
8	Праздничный концерт «Международный женский день»	I-V	07.03.2025	Нижников Е. В.

9	Участие в первомайской демонстрации	I-V	01.05.2025	Коновалов П. А.
10	Патриотическая акция «Бессмертный полк Горного»	I-V	08.05.2025	Комаров А. А.
11	Праздничные мероприятия, посвященные 80 годовщине Победы в ВОВ	I-V	09.05.2025	Нижников Е. В.
12	Легкоатлетическая эстафета «Горняк»	I-V	17.05.2025	Сидоров С. Г.
	5. Организация предметно-пространственной среды			
13	Оформление и обновление новостных стендов	I-V	01.09.2024-30.05.2025	Пономарева Т. В.
14	Популяризация символики образовательной организации	I-V	01.09.2024-10.11.2024	Пономарева Т. В.
15	Подготовка и обновление тематических экспозиций в библиотеке университета	I-V	01.09.2024-30.05.2025	Справцева Е. А.
16	Разработка и реализация коворкинг зон для студентов	I-V	01.09.2024-30.05.2025	Коновалов П. А.
17	Оформление зданий университета, холлов, с использованием государственной символики России	I-V	10.09.2024	Комаров А. А.
	6. Взаимодействие с родителями (законными представителями)			
18	Деятельность Службы примирения университета и работа с конфликтными ситуациями	I-V	01.09.2024 – 30.05.2025	Первушина А. А.
	7. Самоуправление			
19	Обучающие мероприятия для студенческого актива УГГУ	I-V	01.09.2024-20.11.2024	Шехтман Д. А.
20	Обучающие мероприятия для активистов организационно-массовой комиссии ПСО УГГУ	I-V	14.09.2024-16.09.2024	Коновалов П. А.
21	Отчетно – выборные конференции профбюро факультетов	I-V	10.10.2024-25.10.2024	Коновалов П. А.
22	Проведение мероприятия среди студенческой молодёжи, направленного на повышение уровня медиа грамотности "Медиадиктант"	I-V	18.10.2024	Пономарева Т. В.
23	Обучающее мероприятие «ПРОФшкола Горно-механического факультета»	I-V	08.11.2024-12.11.2024	Коновалов П. А.
24	Обучающие мероприятия для активистов ФГХ	I-V	08.11.2024-12.11.2024	Коновалов П. А.
25	Интеллектуальная игра для обучающихся УГГУ «Интуиция»	I-V	10.11.2024	Коновалов П. А.

26	Интеллектуальная игра для обучающихся УГГУ «Квиз-турнир»	I-V	16.12.2024	Коновалов П. А.
27	Новогодняя студенческая елка «Елка желаний»	I-V	24.12.2024	Коновалов П. А.
28	Традиционная новогодняя лотерея среди членов профсоюза	I-V	25.12.2024	Коновалов П. А.
29	Культурно-массовое мероприятие для обучающихся УГГУ «Турнир по киберспорту»	I-V	25.12.2024	Коновалов П. А.
30	Образовательный проект «MediaLife»	I-V	10.01.2025–28.03.2025	Сухомлин С. Д.
31	Интеллектуальная онлайн игра «Что? Где? Когда?», посвященная Всероссийскому дню студента	I-V	25.01.2025	Коновалов П. А.
32	Встреча ректора университета со студенческим активом	I-V	25.01.2025	Шехтман Д. А.
33	Традиционное исполнение студенческих желаний ректором УГГУ А.В. Душиным	I-V	25.01.2025	Шехтман Д. А.
34	Образовательный проект АССК.про	I-V	15.02.2025-01.04.2025	Сухомлин С. Д.
35	Образовательный проект «GM School» для студентов и активистов УГГУ	I-V	04.04.2025-08.04.2025	Сухомлин С. Д.
36	Очный этап образовательного проекта АССК.про	I-V	01.05.2025-30.05.2025	Сухомлин С. Д.
	8. Профилактика и безопасность			
37	Подготовка к социально-психологическому тестированию (сбор сведений, проверка технических возможностей)	I-V	01.08.2024-31.08.2024	Первушина А. А.
38	Размещение информационных материалов по вопросам антитеррористической защищённости	I-V	01.09.2024-25.12.2024	Волков С. А., Пономарева Т. В.
39	Профилактика деструктивных явлений в студенческой среде (подготовка и размещение публикаций на сайте ФГХ, в сообществе «Педагог-психолог УГГУ» и подготовка информационных листов-вкладышей)	I-V	01.09.2024-25.12.2024	Первушина А.А.
40	Подготовка к социально-психологическому тестированию	I-V	01.09.2024-30.09.2024	Первушина А .А.

	(подготовка списков, генерация паролей, информационная кампания)			
41	Размещение информационных материалов об антикоррупционных мероприятиях и нормативной базе в сфере противодействия коррупции	I-V	01.09.2024-25.12.2024	Волков С. А., Пономарева Т. В.
42	Патриотическая акция, посвященная Дню солидарности в борьбе с терроризмом	I-V	03.09.2024	Старостин А. Н. Суслонов П. Е
43	Проведение социально-психологического тестирования	I-V	01.10.2024-30.10.2024	Первушина А. А.
44	Основы безопасного общения и способы защиты от негативного влияния со стороны лиц и групп деструктивной и экстремистской направленности (беседа-тренинг с обучающимися)	I-V	01.10.2024-30.10.2024	Старостин А. Н. Суслонов П. Е
45	Подготовка документации по итогам социально-психологического тестирования	I-V	01.11.2024-30.11.2024	Первушина А. А.
46	Разговор на равных (Тема: профилактика межнациональных и межконфессиональных конфликтов)	I-V	12.11.2024	Старостин А. Н.
47	Организация процедуры получения результатов социально-психологического тестирования и подготовка плана работы с лицами «группы риска»	I-V	01.12.2024-30.12.2024	Первушина А. А.
48	Профилактика деструктивных явлений в период сессии: публикация «От сессии до сессии… Продолжение»	I-V	10.01.2025	Первушина А. А.
49	Профилактика деструктивных явлений в студенческой среде: публикации информационно-просветительского, профилактического характера на психологическую тематику: «Моя свобода и/или свобода другого?» (профилактика буллинга/кибербуллинга)	I-V	01.03.2025-31.03.2025	Первушина А. А.

50	Профилактика деструктивных явлений в студенческой среде: публикации информационно-просветительского, профилактического характера на психологическую тематику: «Кому выгодно кормить наше ЭГО?» (профилактика правонарушений и экстремистских проявлений)	I-V	01.04.2025-30.04.2025	Первушина А. А.
	9. Социальное партнёрство и участие работодателей			
51	Уральский горнопромышленный форум	I-V	01.10.2024-31.10.2024	Костюк П. А.
52	Экскурсионные мероприятия (Альфа-банк)	I-V	04.12.2024	Коновалов П. А.
53	VIII Международный инженерный чемпионат Case-in	I-V	01.03.2025-31.03.2025	Костюк П. А.
54	Экскурсионные мероприятия (Екатеринбургский метрополитен)	I-V	29.03.2025	Коновалов П. А., Коренькова М. А.
55	Всероссийский фестиваль по робототехнике	I-V	01.04.2025-30.04.2025	Кухарева А. А.
56	Ярмарка студентов	I-V	20.04.2025	Коренькова М. А.
57	Уральская горнопромышленная декада	I-V	01.05.2025-30.05.2025	Валиев Н. Г. Лебзин М. С.
	10. Профессиональное развитие, адаптация и трудоустройство			
58	Профориентационные презентации для абитуриентов	I-V	01.09.2024-25.12.2024	Кухарева А. А.
59	Экскурсии по УГГУ для абитуриентов	I-V	01.09.2024-25.12.2024	Кухарева А. А.
60	Культурно-массовое мероприятие «Межвузовский Since-Slame»	I-V	02.11.2024-03.11.2024	Шехтман Д. А.
61	День памяти погибших при исполнении служебных обязанностей сотрудников органов внутренних дел	I-V	08.11.2024	Мальцев Н. В.
62	Культурно-массовое мероприятие «Экскурсия в Уральский геологический музей»	I-V	17.11.2024	Иванова Н. С.
63	Отборочный этап студенческих проектов «Проектный конвейер»	I-V	19.11.2024	Шехтман Д. А.
64	Лекция от приглашенного спикера для обучающихся о развитии личностных качеств	I-V	24.11.2024	Коновалов П. А.
65	День юриста	I-V	03.12.2024	Мальцев Н. В.

66	Тематическая выставка «Пожарное и спасательное дело в России»	I-V	09.01.2025-31.01.2025	Справцева Е. А.
67	Конкурс профессионального мастерства «Студенческий лидер УГГУ»	I-V	25.03.2025	Коновалов П. А.
68	День открытых дверей УГГУ	I-V	26.03.2025	Гензель О. В.
69	Организация и проведение мероприятия «Встреча выпускников всех поколений и День геолога»	I-V	01.04.2025-30.04.2025	Нижников Е. В.
70	Тематическая выставка «Нефтегазовая отрасль – поле для инноваций»	I-V	01.04.2025-15.04.2025	Справцева Е. А.
71	Поход студентов геологов «Тур де ФГиГ»	I-V	04.05.2025	Коновалов П. А.
72	Организация и проведение мероприятия «Торжественное вручение дипломов выпускникам УГГУ»	I-V	01.07.2025-10.07.2025	Нижников Е. В.
	11. Воспитание здорового образа жизни			
73	Проект «Уральская студенческая баскетбольная лига»	I-V	01.09.2024-25.12.2024	Сухомлин С. Д.
74	Психологическое консультирование	I-V	01.09.2024-25.06.2025	Первушина А. А.
75	Спортивно-массовое мероприятие «Турнир по Пейнтболу среди обучающихся УГГУ»	I-V	20.09.2024-24.09.2024	Сухомлин С. Д.
76	Осенний турслет	I-V	24.09.2024-26.09.2024	Комаров А. А.
77	Чемпионат УГГУ по стрельбе «Меткий стрелок»	I-V	25.10.2024-31.10.2024	Комаров А. А.
78	Спортивно-массовое мероприятие «День Рождение ССК УГГУ «Горная Машина»	I-V	07.11.2024	Сухомлин С. Д.
79	Профилактическое мероприятие «Экспресс-тестирование на ВИЧ»	I-V	18.11.2024-19.11.2024	Медянникова Н. Г.
80	Спортивно-массовое мероприятие для обучающихся УГГУ «Неделя баскетбола»	I-V	13.12.2024-20.12.2024	Сухомлин С. Д.
81	Студенческий спортивный баттл	I-V	17.12.2024	Сухомлин С. Д
82	Фестиваль зимних видов спорта, посвященный Всемирному дню снега	I-V	15.01.2025-16.01.2025	Сухомлин С. Д.
83	Внутривузовский отборочный этап чемпионата АССК России по 5-и видам спорта	I-V	15.02.2025–01.03.2025	Сухомлин С. Д.

84	Спортивно-массовое мероприятие Турнир по страйкболу среди факультетов УГГУ, посвященный 23 февраля	I-V	21.02.2025	Коновалов П. А.
85	Спортивный турнир среди женских команд факультетов УГГУ, посвященный «Международному женскому дню»	I-V	04.03.2025	Коновалов П. А.
86	Проект «От Студзачета к знаку отличия ГТО»	I-V	14.03.2025-21.03.2025	Сухомлин С. Д.
87	Ежегодная спартакиада общежитий УГГУ по баскетболу	I-V	15.03.2025	Коновалов П. А.
88	Профилактическое мероприятие для обучающихся УГГУ «Экспресс-тестирование на ВИЧ»	I-V	16.03.2025	Медянникова Н. Г.
89	Ежегодная спартакиада общежитий УГГУ по настольному теннису	I-V	16.03.2025	Коновалов П. А.
90	Ежегодная спартакиада общежитий УГГУ по стрельбе из пневматического ружья	I-V	17.03.2025	Коновалов П. А.
91	Спортивное мероприятие туристического клуба «Скалы Петра Гронского»	I-V	19.03.2025	Комаров А. А.
92	Ежегодная спартакиада общежитий УГГУ по мини-футболу	I-V	22.03.2025	Коновалов П. А.
93	Ежегодная спартакиада общежитий УГГУ по волейболу	I-V	23.03.2025	Коновалов П. А.
94	Ежегодная спартакиада общежитий УГГУ по шахматам	I-V	24.03.2025	Коновалов П. А.
95	Оценка уровня информированности и отношение к проблеме эпидемии ВИЧ-инфекции среди студентов	I-V	01.04.2025-30.04.2025	Медянникова Н. Г.
96	Поход туристического клуба «Авантюрин» - «Покорение скал»	I-V	02.04.2025-03.04.2025	Комаров А. А.
97	Мероприятие, приуроченное к Всемирному дню здоровья	I-V	07.04.2025	Коновалов П. А.
98	Профилактическая акция для обучающихся УГГУ «Что выберешь ты?»	I-V	14.04.2025	Коновалов П. А.
99	Фестиваль летних уличных видов спорта «Горный X-games»	I-V	06.06.2025	Сухомлин С. Д.
	12. Художественно-эстетическое воспитание			

100	Культурно-массовое мероприятие «День знаний»	I-V	01.09.2024	Нижников Е. В
101	Участие университетской команды КВН в центральной/официальной лиге МС КВН (полуфинал)	I-V	01.09.2024 30.10.2024	Нижников Е. В
102	Участие коллектива УГГУ «ГрандMajor» в Международном фестивале по «Мажореткам»	I-V	01.10.2024-30.10.2024	Нижников Е. В.
103	Культурно-массовое мероприятие для обучающихся УГГУ «Литературный вечер»	I-V	07.10.2024	Коновалов П. А.
104	Культурно-массовое мероприятие «День культуры африканских стран»	I-V	12.10.2024	Иванова Н. С.
105	Культурно-массовое мероприятие для обучающихся УГГУ – Флешмоб, посвященный Дню первокурсника	I-V	14.10.2024-21.10.2024	Коновалов П. А.
106	Культурно-массовое мероприятие Смотр Художественной Самодеятельности для обучающихся первого курса	I-V	20.10.2024	Коновалов П. А.
107	Культурно-массовое мероприятие «День первокурсника»	I-V	21.10.2024	Нижников Е. В.
108	Международная просветительская акция «Большой этнографический диктант»	I-V	01.11.2024-30.11.2024	Старостин А. Н., Суслонов П. Е.
109	Участие университетской команды КВН в центральной/официальной лиге МС КВН (финал)	I-V	01.11.2024-30.11.2024	Нижников Е. В.
110	Фестиваль команд КВН «Уральские горы юмора»	I-V	25.11.2024	Нижников Е. В.
111	Культурно-массовое мероприятие для обучающихся УГГУ «Зимний бал 2024»	I-V	23.12.2024	Коновалов П. А.
112	Культурно-массовое мероприятие «Новый Год для детей работников УГГУ»	I-V	23.12.2024	Шехтман Д. А.
113	Культурно-массовое мероприятие «Новый год для иностранных студентов УГГУ». Конкурс рассказов о национальных новогодних традициях	I-V	24.12.2024	Иванова Н. С.
114	Конкурс красоты «Мисс и Мистер УГГУ-2025»	I-V	24.03.2025	Нижников Е. В.
115	Культурно-массовое мероприятие для обучающихся	I-V	21.04.2025	Коновалов П. А.

	УГГУ «Смотр художественной самодеятельности»			
116	Отчетный концерт студенческого культурного центра	I-V	26.05.2025	Нижников Е. В.
	13. Экологическое воспитание			
117	Экологическая акция по сбору отработанных батареек и пластиковых крышечек	I-V	01.09.2024-30.09.2024	Ершова А. А.
118	Реализация проекта «Экодворы» с Всероссийским экологическим движением «Делай!»	I-V	01.09.2024-30.12.2024	Ершова А. А.
119	Проведение субботников, совместно с Всероссийским экологическим движением «Делай!»	I-V	20.09.2024-20.10.2024	Ершова А. А.
120	Посадки саженцев деревьев с Всероссийским экологическим движением «Делай!»	I-V	20.09.2024-20.11.2024	Ершова А. А.
121	Экологические занятия в школах г. Екатеринбург	I-V	01.01.2025-30.04.2025	Ершова А. А.
122	Выезд эковолонтеров университета ИЭФ-TRIP “Источники”	I-V	17.02.2025	Коновалов П. А.
123	Проведение субботников, совместно с Всероссийским экологическим движением «Делай!»	I-V	01.04.2025-30.04.2025	Ершова А. А.
124	Выезд эковолонтеров университета ИЭФ-TRIP «Челябинская область»	I-V	11.05.2025	Коновалов П. А.
	14. Волонтерское движение			
125	Ежегодная благотворительная акция «Полезная макулатура»	I-V	01.11.2024-01.12.2024	Коновалов П. А., Ершова А. А.
126	День добровольца (волонтера) в России	I-V	05.12.2024	Ершова А. А.
127	Акция, приуроченная к национальному дню донора в России	I-V	26.04.2025	Коновалов П. А.
128	Посещение волонтерами ветеранов ВОВ и тружеников тыла, приуроченное ко «Дню Победы»	I-V	02.05.2025-11.05.2025	Ершова А. А.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу_____ С.А. Упоров

ПРОГРАММА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ

Направление -
15.03.06 Мехатроника и робототехника

Профиль -
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Автор: Волков Е.Б., доц., к.т.н.

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Волков Е.Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ
1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ 3
1.1 Требования к выпускной квалификационной работе 3
1.2 Порядок выполнения выпускной квалификационной работы 16

2 КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ 18

3 ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ 19
3.1 Тематика выпускных квалификационных работ 19
3.2 Теоретические вопросы государственной итоговой аттестации, оценивающие сформированность универсальных компетенций 19
3.3 Теоретические вопросы государственной итоговой аттестации, оценивающие сформированность общепрофессиональных компетенций 20

ПРИЛОЖЕНИЯ 22

ВВЕДЕНИЕ

Программа государственной итоговой аттестации по основной профессиональной образовательной программе по направлению подготовки – ***15.03.06 Мехатроника и робототехника***, направленность (профиль) - «Мехатроника и робототехника промышленных производств» составлена в соответствии с требованиями:

- Порядка проведения государственной итоговой аттестации по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 29.06.2015 № 636;
- Федерального государственного образовательного стандарта - по направлению подготовки - 15.03.06 Мехатроника и робототехника, утверждённого приказом Минобрнауки России от 17.08.2020 № 1046.
- локальных нормативных актов университета, регламентирующих порядок проведения государственной итоговой аттестации.

Программа государственной итоговой аттестации включает:

I. Требования к выпускным квалификационным работам и порядку их выполнения (методические рекомендации по выполнению выпускных квалификационных работ);

II. Критерии оценки защиты выпускных квалификационных работ;

III. Оценочные материалы;

IV. Приложения.

I МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1.1 ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1.1.1 Общие положения

Государственная итоговая аттестация представляет собой процесс итоговой проверки и оценки компетенций выпускника, полученных в результате обучения. Государственная итоговая аттестация выпускника высшего учебного заведения является обязательной и осуществляется после освоения образовательной программы в полном объеме. Цель итоговой государственной аттестации выпускников – установление уровня готовности выпускника к выполнению профессиональных задач.

Государственная итоговая аттестации выпускников, завершивших освоение основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки – ***15.03.06 Мехатроника и робототехника***, направленность (профиль) - «Мехатроника и робототехника промышленных производств» осуществляется в форме выполнения, подготовки к процедуре защиты выпускной квалификационной работы и защиты выпускной квалификационной работы.

Трудоемкость государственной итоговой аттестации – 9 з.е.:

- выполнение, подготовки к процедуре защиты выпускной квалификационной работы – 6 з.е.;
- защита выпускной квалификационной работы – 3 з.е.

Трудоемкость государственной итоговой аттестации				
кол-во з.е.	часы			
	общая	контактная работа	СР	
6	216	20	196	Выполнение, подготовка к процедуре защиты выпускной квалификационной работы
3	108	5	103	Защита выпускной квалификационной работы

1.1.2 Цели и задачи выпускной квалификационной работы

Цель выполнения выпускной квалификационной работы (далее – ВКР):

систематизация, закрепление и расширение теоретических и практических знаний по направлению подготовки – 15.03.06 Мехатроника и робототехника, и применение этих знаний при решении конкретных профессиональных задач;

развитие навыков ведения самостоятельной работы и применения методик исследования и экспериментирования при решении разрабатываемых в выпускной квалификационной работе проблем и вопросов;

выяснение подготовленности обучающихся для самостоятельной работы по задачам профессиональной деятельности, определенных федеральным государственным образовательным стандартом (далее - ФГОС) по направлению подготовки – ***15.03.06 Мехатроника и робототехника***.

Выпускная квалификационная работа выполняется, как правило, на материалах организаций (баз практики) с учетом проблем, требующих решения в данной организации.

Основными задачами, которые должен решить обучающийся при выполнении выпускной квалификационной работы являются:

обоснование актуальности и значимости выбранной темы работы;

изучение теоретических положений по проблеме, сущности проблемы, нормативной документации;

обоснование необходимости и возможности применения определенных (в том числе) современных методик в решении задачи, поставленной в работе;

сбор необходимой информации с привлечением первичных и вторичных источников;

разработка практических рекомендаций и предложений, их экономическое и технологическое обоснование;

оформление ВКР в соответствии с нормативными требованиями.

В ходе государственной итоговой аттестации проверяется сформированность следующих компетенций:

универсальных

Категория (группа) универсальных компетенций	Код и наименование универсальной компетенции	Код и наименование индикатора достижения универсальной компетенции
Системное и критическое мышление	УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1. Выбирает информационные ресурсы для поиска информации в соответствии с поставленной задачей УК-1.2. Оценивает соответствие выбранного информационного ресурса критериям полноты и аутентичности УК-1.3. Использует системный подход для решения поставленных задач
Разработка и реализация проектов	УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения,	УК-2.1. Формулирует цели, задачи, обосновывает актуальность, значимость проекта при разработке его концепции в рамках выявленной проблемы;

	исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	оценивает ожидаемые результаты и области их применения УК-2.2. Предлагает процедуры и механизмы внедрения стандартов, исходя из действующих правовых норм, организации информационного обеспечения в сфере проектного управления для повышения эффективности его осуществления
Командная работа и лидерство	УК.3 Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	УК-3.1. Взаимодействует с другими членами команды для достижения поставленной задачи УК-3.2. Выбирает стратегии поведения в команде в зависимости от условий
Коммуникация	УК-4 Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах)	УК-4.1. Демонстрирует умение вести обмен деловой информацией в устной и письменной формах на государственном языке УК-4.2. Демонстрирует умение вести обмен деловой информацией в устной и письменной формах не менее чем на одном иностранном языке УК-4.3. Использует современные информационно-коммуникативные средства для коммуникации
Межкультурное взаимодействие	УК-5 Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах	УК-5.1. Толерантно воспринимает социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия УК-5.2. Анализирует современное состояние общества на основе знания истории УК-5.3 Интерпретирует проблемы современности с позиций этики и философских знаний
Самоорганизация и саморазвитие (в том числе здоровьесбережение)	УК-6 Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни	УК-6.1. Эффективно планирует собственное время УК-6.2. Планирует траекторию своего профессионального развития и предпринимает шаги по ее реализации
	УК-7 Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности	УК-7.1. Использует основы физической культуры для осознанного выбора здоровьесберегающих технологий с учетом внутренних и внешних условий реализации конкретной профессиональной деятельности УК-7.2. Выполняет индивидуально подобранные комплексы оздоровительной или адаптивной физической культуры УК-7.3. Выбирает и применяет рациональные способы и приемы сохранения физического здоровья,

		профилактики заболеваний, психофизического и нервно-эмоционального утомления
Безопасность жизнедеятельности	УК-8 Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов	УК-8.1. Выявляет возможные угрозы для жизни и здоровья в повседневной и профессиональной деятельности УК-8.2. Понимает, как создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов УК-8.3. Демонстрирует приемы оказания первой помощи
Инклюзивная компетентность	УК-9 Способен использовать базовые дефектологические знания в социальной и профессиональной сферах	УК-9.1. Применяет базовые дефектологические знания в социальной и профессиональной сферах УК 9.2. Применяет навыки взаимодействия в социальной и профессиональной сферах с лицами из числа инвалидов и лицами с ограниченными возможностями здоровья
Экономическая культура, в том числе финансовая грамотность	УК-10 Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности	УК-10.1. Понимает основные проблемы, базовые принципы и законы функционирования экономики, роль государства в экономическом развитии УК-10.2. Понимает поведение потребителей и производителей экономических благ, особенности рынков факторов производства
Гражданская позиция	УК-11 Способен формировать нетерпимое отношение к проявлениям экстремизма, терроризма, коррупционному поведению и противодействовать им в профессиональной деятельности	УК-11.1 Знает законодательство, направленное на борьбу с экстремизмом, терроризмом, коррупцией УК-11.2 Понимает правовые нормы, обеспечивающие борьбу с экстремизмом, терроризмом, коррупцией в различных областях жизнедеятельности

Общепрофессиональных

Код и наименование общепрофессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения общепрофессиональной компетенции
ОПК-1 Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности	ОПК-1.1. Анализирует фундаментальные естественнонаучные и общеинженерные теории, методы математического анализа и моделирования, их роль в развитии науки ОПК-1.2. Применяет математические и физические законы для решения типовых профессиональных задач ОПК-1.3. Проводит математическое и физическое моделирование в профессиональной деятельности

ОПК-2 Способен применять основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации при решении задач профессиональной деятельности	ОПК-2.1. Применяет основные методы получения, хранения, переработки информации при решении задач профессиональной деятельности ОПК-2.2.Анализирует способы и средства получения, хранения, переработки информации при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного уровня	ОПК-3.1. Применяет основы экономической теории, основные понятия и законы экологии, новейшие технологии управления социально-техническими системами на всех этапах жизненного уровня ОПК-3.2. Использует экономическую теорию и инструментарий, применяет базовые знания фундаментальных разделов экологии, применяет современную научную методологию исследования управления социально-техническими системами на всех этапах жизненного уровня ОПК-3.3. Демонстрирует навыки расчета основных показателей деятельности предприятия в разных временных периодах; приемами анализа экологических последствий хозяйственной деятельности человека; навыками принятия управленческих решений с учетом возможных рисков на всех этапах жизненного уровня
ОПК-4 Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	ОПК-4.1. Понимает принципы работы современных информационных технологий, необходимых для решения задач профессиональной деятельности ОПК-4.2. Использует современные информационные технологии для решения задач профессиональной деятельности
ОПК-5 Способен работать с нормативно-технической документацией, связанной с профессиональной деятельностью, с использованием стандартов, норм и правил	ОПК-5.1. Анализирует нормативно-техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью, с учетом стандартов, норм и правил ОПК-5.2. Применяет нормативно-техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью, с учетом стандартов, норм и правил
ОПК-6 Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий	ОПК-6.1. Решает стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной культуры с применением информационно-коммуникативных технологий ОПК-6.2. Демонстрирует профессиональную деятельность на основе библиографической культуры с применением информационно-коммуникативных технологий
ОПК-7 Способен применять современные экологичные и безопасные методы рационального использования сырьевых и энергетических ресурсов в машиностроении	ОПК-7.1. Анализирует современные экологичные методы рационального использования сырьевых и энергетических ресурсов в машиностроении ОПК-7.2. Применяет безопасные методы рационального использования сырьевых и энергетических ресурсов в машиностроении
ОПК-8 Способен проводить анализ затрат на обеспечение деятельности производственных подразделений	ОПК-8.1. Анализирует затраты на обеспечение деятельности производственных подразделений

ОПК-9 Способен внедрять и осваивать новое технологическое оборудование	ОПК-9.1. Внедряет новое технологическое оборудование ОПК-9.2. Осваивает новое технологическое оборудование
ОПК-10 Способен контролировать и обеспечивать производственную и экологическую безопасность на рабочих местах	ОПК-10.1. Обеспечивает производственную и экологическую безопасность на рабочих местах ОПК-10.2. Контролирует производственную и экологическую безопасность на рабочих местах
ОПК-11 Способен разрабатывать и применять алгоритмы и современные цифровые программные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием, разрабатывать цифровые алгоритмы и программы управления робототехнических систем	ОПК-11.1. Применяет стандартные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием ОПК-11.2. Разрабатывает цифровые алгоритмы управления для робототехнических систем и реализует их в виде прикладного программного обеспечения ОПК-11.3. Применяет методы расчета типовых характеристик силовых электронных преобразователей, методы их проектирования в соответствии с техническим заданием, в том числе с использованием типовых и специальных пакетов прикладных программ ОПК-11.4. Применяет современные методы компьютерного проектирования цифровых систем с использованием элементов программируемой логики
ОПК-12 Способен участвовать в монтаже, наладке, настройке и сдаче в эксплуатацию опытных образцов мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей	ОПК-12.1. Выбирает необходимый комплекс технических средств для современных микроконтроллерных и микропроцессорных систем управления ОПК-12.2. Знает конструктивные особенности и назначение мехатронных и робототехнических систем, правила их эксплуатации ОПК-12.3. Умеет пользоваться инструментом, оборудованием и приборами для наладки мехатронных и робототехнических систем ОПК-12.4. Выбирает способы, средства и методы измерений физических величин
ОПК-13 Способен применять методы контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности	ОПК-13.1. Выбирает и применяет типовые методы и средства контроля качества изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности
ОПК-14 Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения	ОПК-14.1. Составляет алгоритмы, пригодные для практического применения; ОПК-14.2. Разрабатывает компьютерные программы, пригодные для практического применения

Профессиональных

Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
ПК-1.1 Способен осуществлять анализ технологических процессов механосборочного	ПК-1.1.1 Собирает и анализирует исходные информационные данные для проектирования технологических процессов механосборочного производства с целью выявления операций, подлежащих автоматизации и механизации

производства с целью выявления операций, подлежащих автоматизации и механизации	ПК-1.1.2 Владеет навыками проведения патентных исследований, изучение передового опыта в области автоматизации и механизации технологических процессов ПК-1.1.3 Участвует в разработке предложений по автоматизации и механизации технологических процессов механосборочного производства
ПК-1.2 Способен к внедрению средств автоматизации и механизации технологических процессов механосборочного производства	ПК-1.2.1 Знает способы внедрения средств автоматизации и механизации технологических процессов механосборочного производства ПК-1.2.2 Знает принципы разработки технологической части проекта по внедрению средств автоматизации и механизации технологических процессов механосборочного производства ПК-1.2.3 Выполняет проверку соответствия разрабатываемых средств автоматизации и механизации технологических процессов современному уровню развития техники и технологии
ПК-1.3 Способен осуществлять контроль за эксплуатацией средств автоматизации и механизации технологических процессов механосборочного производства	ПК-1.3.1 Осуществляет контроль за правильной эксплуатацией, обслуживанием средств автоматизации и механизации технологических процессов ПК-1.3.2 Осуществляет анализ эффективности и надежности средств автоматизации и механизации технологических процессов ПК-1.3.3 Формулирует предложения по устранению недостатков средств автоматизации и механизации технологических процессов, изменению их конструкции на более совершенную
ПК-1.4 Способен разрабатывать схемотехнические решения и осуществлять проведение расчетов изделий детской и образовательной робототехники	ПК-1.4.1 Знает принципы построения кинематических схем узлов изделий детской и образовательной робототехники ПК-1.4.2 Выполняет кинематические и прочностные расчеты механических узлов изделий детской и образовательной робототехники ПК-1.4.3 Осуществляет расчет надежности разрабатываемых изделий детской и образовательной Робототехники ПК-1.4.4 Разрабатывает схемотехническую документацию изделий детской и образовательной робототехники
ПК-1.5 Способен проводить финансовый анализ, бюджетирование и управление денежными потоками	ПК-1.5.1 Разрабатывает финансовую политику экономического субъекта, определяет и осуществляет меры по обеспечению ее финансовой устойчивости ПК-1.5.2 Составляет финансовые планы, бюджеты и сметы экономического субъекта ПК-1.5.3 Руководит работой по управлению финансами с учётом стратегических целей ПК-1.5.4 Оценивает и анализирует финансовый потенциал, ликвидность и платежеспособность, финансовую устойчивость, прибыльность и рентабельность, инвестиционную привлекательность экономического субъекта
ПК-1.6 Способен прогнозировать доходы и расходы инвестиционного проекта, оценивать его	ПК-1.6.1 Осуществляет подготовку производственного плана и прогнозирование доходов и расходов инвестиционного проекта ПК-1.6.2 Определяет срок окупаемости и потребность в кредитных ресурсах на основе доли собственных средств акционеров проекта

эффективность и устойчивость к изменяющимся параметрам внешней и внутренней среды	ПК-1.6.3 Применяет методы оценки эффективности инвестиционного проекта ПК-1.6.4 Оценивает устойчивость инвестиционного проекта к изменяющимся ключевым параметрам внешней и внутренней среды
ПК-1.7 Способен выполнять типовые задачи тактического планирования с учётом имеющихся ресурсов, потребностей рынка и современных достижений науки и техники	ПК-1.7.1 Организует работу по тактическому планированию деятельности структурных подразделений (отделов, цехов) производственной организации, направленному на определение пропорций развития производства, исходя из конкретных условий и потребностей рынка, выявление и использование резервов производства ПК-1.7.2 Выполняет типовые расчеты, необходимые для составления проектов перспективных планов производственной деятельности организации, разработки технико-экономических нормативов материальных и трудовых затрат для определения себестоимости продукции, планово-расчетных цен на основные виды сырья, материалов, топлива, энергии, потребляемые в производстве ПК-1.7.3 Разрабатывает с учетом требований рыночной конъюнктуры и современных достижений науки и техники мероприятия по модернизации систем управления производством в целях реализации стратегии организации, обеспечения эффективности производства и повышения качества выпускаемой продукции
ПК-1.8 Способен разрабатывать стратегию хозяйствующего субъекта, управлять процессами организации производства и труда для обеспечения конкурентоспособности производимой и реализуемой продукции, работ (услуг) и получения прибыли	ПК-1.8.1 Разрабатывает предложения по рационализации структуры управления производством в соответствии с целями и стратегией организации, действующих систем, форм и методов управления производством, по совершенствованию организационно-распорядительной документации и организации документооборота, по внедрению технических средств обработки информации, персональных компьютеров и сетей, автоматизированных рабочих мест ПК-1.8.2 Организует на тактическом горизонте управление мониторингом производственных процессов; обеспечивает максимальное использование производственных мощностей, ритмичное и бесперебойное движение незавершенного производства, сдачу готовой продукции, выполнение работ (услуг), складских и погрузочно-разгрузочных операций по установленным графикам ПК-1.8.3 Руководит проведением экономических исследований производственно-хозяйственной деятельности структурного подразделения (отдела, цеха) промышленной организации в целях обоснования внедрения новых технологий, смены ассортимента продукции с учетом конъюнктуры рынка; разрабатывает предложения по совершенствованию управления организацией и эффективному выявлению и использованию имеющихся ресурсов для обеспечения конкурентоспособности производимой продукции, работ (услуг) и получения прибыли ПК-1.8.4: разрабатывает стратегию организации с целью адаптации ее хозяйственной деятельности и системы управления к изменяющимся в условиях рынка внешним и внутренним экономическим условиям; подготавливает и согласовывает разделы тактических комплексных планов производственной, финансовой и коммерческой деятельности организации и ее структурных подразделений (отделов, цехов)

При выполнении выпускной квалификационной работы обучающиеся должны *показать*, опираясь на полученные знания, умения и полученные навыки:

сформированные универсальные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции;

способность самостоятельно решать на современном уровне задачи своей профессиональной деятельности;

навыки постановки исследовательской проблемы, ее самостоятельного обсуждения, анализа возможных вариантов ее решения;

способность грамотно излагать специальную информацию, аргументировать и защищать свою точку зрения;

умение самостоятельного квалифицированного библиографического поиска, изучения и анализа научной литературы по теме;

навыки использования методологических, историко-философских и конкретных знаний, полученных в процессе обучения, для решения поставленной в работе проблемы;

умение написания профессионально грамотного текста и оформления его в соответствии с требованиями, предъявляемыми к научным публикациям;

использование в работе современных технологий.

1.1.3 Общие требования к выпускной квалификационной работе

Выпускная квалификационная работа должна отвечать следующим требованиям:

- быть актуальной (иметь теоретическое обоснование актуальности изучаемой проблемы в современных условиях хозяйственной деятельности);
- носить практический или научно-исследовательский характер;
- представлять самостоятельное исследование, демонстрирующее способность выпускника решать профессиональные проблемы, делать на основе анализа учебной и специальной литературы, нормативной и технической документации соответствующие выводы и вносить предложения;
- отражать добросовестность обучающегося в использовании опубликованных материалов других авторов.

Общие требования к выпускной квалификационной работе – целевая направленность; четкость построения; логическая последовательность изложения материала; глубина исследования и полнота освещения вопросов; убедительность аргументаций; доказательность выводов и обоснованность рекомендаций; грамотное оформление.

Текст выпускной квалификационной работы должен демонстрировать:

- знакомство автора с литературой вопроса;
- умение выделить проблему и определить методы ее решения;
- умение последовательно изложить существо рассматриваемых вопросов, грамотно цитировать ведущих исследователей, делать ссылки на использованные источники;
- умение собирать, обобщать, анализировать нормативные документы, практические материалы, полученные в результате собственного исследования в организации;
- достоверность и конкретность изложения фактических и экспериментальных данных о работе организации;
- обоснование выводов и предложений по результатам исследования, их конкретный характер, практическую ценность для решения исследуемых проблем;
- владение соответствующим понятийным и терминологическим аппаратом;
- четкость и логичность изложения мыслей, доказательность целесообразности и эффективности предлагаемых решений;
- приемлемый уровень языковой грамотности, включая владение функциональным стилем научного изложения.

1.1.4 Выбор, согласование и утверждение темы выпускной квалификационной работы

Выбор темы выпускной квалификационной работы осуществляется обучающимся по согласованию с руководителем ВКР и (или) специалистами организации-базы практики, где будет проходить преддипломная практика. При выборе темы ВКР необходимо исходить из:

актуальности проблемы и значимости ее для научной и практической деятельности;

потребностей развития и совершенствования деятельности конкретной организации;

интересов, склонностей в научно-исследовательской работе обучающегося, а также перспектив его будущей профессиональной деятельности;

возможности получения информации для проведения анализа и обоснования предлагаемых решений.

Примерный перечень тем выпускных квалификационных работ разрабатывается выпускающей кафедрой и доводится до сведения обучающихся. Обучающийся может предложить свою тему, обосновав целесообразность ее разработки. Тема выпускной квалификационной работы может являться продолжением тем, ранее представленных обучающимся в рамках курсовых работ (проектов).

Для успешного выполнения выпускной квалификационной работы необходимо уже на первом этапе (выбор темы) четко сформулировать цель работы (отражающуюся в ее названии) и задачи.

После выбора темы, согласования ее с руководителем ВКР, обучающийся подает заявление на имя заведующего кафедрой об утверждении темы выпускной квалификационной работы (приложение 1).

Закрепление тем выпускных квалификационных работ за обучающимися оформляется приказом по университету. Следует иметь в виду, что **тема, утвержденная приказом ректора университета, изменению не подлежит**. Исключение могут составить лишь случаи возникновения объективных непреодолимых препятствий к ее разработке. Изменение оформляется приказом по университету на основании письменного заявления обучающегося и представления заведующего кафедрой.

1.1.5 Структура и содержание выпускной квалификационной работы

Структурные элементы выпускной квалификационной работы **перечислены ниже в порядке их расположения и брошюровки.**

1. Титульный лист (приложение 2)
2. Сопроводительные документы к выпускной квалификационной работе:

2.1 Задание на выполнение выпускной квалификационной работы (приложение 3).

2.2 Отзыв руководителя ВКР (приложение 4).

2.3 Если результаты исследования нашли практическое применение, то прилагается документ, подтверждающий внедрение результатов исследования в практическую деятельность (приложение 6)

2.4 Справка о проверке в системе «Антиплагиат. ВУЗ» (приложение 7).

3. Содержание (приложение 8).
4. Введение.
5. Основная часть работы.
6. Заключение.
7. Список использованных источников (приложение 9).
8. Приложения.

Титульный лист должен содержать все необходимые идентификационные признаки, в частности, название работы, указание автора работы, руководителя.

На титульном листе подписью руководителя, консультанта (при наличии) подтверждается допуск выпускной квалификационной работы к защите.

Титульный лист учитывается в общей нумерации страниц выпускной квалификационной работы, порядковый номер на титульном листе не ставится.

Сопроводительные документы подшиваются следом за титульным листом работы, но в общей нумерации страниц выпускной квалификационной работы они не учитываются и порядковые номера на них не ставятся.

Цель составления *задания на выполнение выпускной квалификационной работы* – уяснение замысла работы и поставленных в ней основных проблем. Оформление задания на работу предполагает составление под контролем руководителя ВКР плана будущей работы.

Наличие *содержания* (плана работы) позволяет уйти от освещения вопросов, не относящихся к теме работы, обеспечить четкость и последовательность изложения материала, избежать пробелов и повторений, рационально организовать самостоятельный труд, сэкономить время.

Содержание работы помещают после справки о внедрении (если она есть). Слово «СОДЕРЖАНИЕ» записывают в виде заголовка симметрично тексту прописными буквами. В содержании работы указывается перечень всех глав и параграфов выпускной квалификационной работы, а также номера страниц, с которых начинается каждый из них (точно по тексту). Главы в выпускной квалификационной работе должны иметь в пределах всей работы порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами. Параграфы каждой главы должны иметь нумерацию в пределах каждой главы. Номер параграфа состоит из номера главы и непосредственно номера параграфа в данной главе, отделенного от номера главы точкой. Заголовки содержания должны точно повторять заголовки в тексте. Сокращать или давать их в другой формулировке, последовательности и соподчиненности по сравнению с заголовками в тексте нельзя.

При этом надо иметь в виду, что названия глав и параграфов не должны дублировать друг друга, а также наименование темы работы. Каждая глава должна раскрывать часть темы, каждый параграф главы – часть содержания главы.

Введение, заключение, список использованных источников включают в содержание, но не нумеруют.

Пример оформления содержания выпускной квалификационной работы приведен в приложении 8.

Страницы содержания учитываются в общей нумерации страниц выпускной квалификационной работы, порядковый номер на странице не ставится.

Выполнение выпускной квалификационной работы рекомендуется начинать с написания «ВВЕДЕНИЯ». Естественно, в процессе исследования первичный текст введения будет меняться, иногда очень существенно. Но это не отрицает необходимости на начальном этапе поставить перед собой задачи исследования, отражаемые во введении.

«ВВЕДЕНИЕ» в общем случае имеет следующую структуру:

актуальность выбранной темы;

формулировка цели и определение конкретных задач исследования (они найдут отражение в содержании работы);

оценка современного состояния техники и технологии в данной области;

связь решаемых в работе вопросов с общими задачами развития предприятий.

Во введении следует коротко сформулировать актуальность темы, т.е. причину возникновения проблемы и ее суть. Актуальность определяется как значимость, важность и приоритетность выбранной темы исследования среди других тем. Она должна подтверждаться положениями и доводами, свидетельствующими в пользу научной и практической значимости решения проблем и вопросов, исследуемых в работе. Необходимо объяснить, почему именно выбранная тема представляет интерес на современном этапе развития. Обоснование актуальности темы работы не должно быть многословным. Главное – показать, как автор оценивает своевременность и социальную значимость выбранной темы.

От доказательства актуальности следует перейти к формулировке цели исследования. Цель исследования – это образ желаемого результата, то, что намерен достичь автор работы.

Цель выпускной квалификационной работы должна соответствовать названию темы. Цель работы формулируется кратко и точно. Например, «Цель выпускной квалификационной работы – Разработать систему управления мехатронным модулем движения шахтного вентилятора местного проветривания».

Конкретизация цели осуществляется в задачах исследования. «Исходя из поставленной цели, были поставлены следующие задачи выпускной квалификационной работы:

- Анализ существующих мехатронных модулей движения горных машин;
- Сбор и анализ параметров шахтных вентиляторов местного проветривания;

- Математическое описание системы управления мехатронным модулем движения шахтного вентилятора местного проветривания

- Технико-экономическое обоснование

- Безопасность и экологичность проекта».

Формулировки задач необходимо делать очень тщательно, так как описание их решения должно составить содержание последующих глав (параграфов) выпускной квалификационной работы.

После того, как сформулированы цель и задачи, следует указать информационную базу и структуру выпускной работы, а именно:

«Выпускная квалификационная работа состоит из введения, разделов или частей основного текста, заключения, списка использованных источников, приложений».

Введение не должно превышать 2-3 страницы компьютерного набора.

Страницы введения учитываются в общей нумерации страниц работы, номер страницы проставляется.

Основная часть выпускной квалификационной работы состоит из следующих разделов:

В основной части работы излагается суть исследования (анализ изучаемого объекта), показывается понимание сущности избранной темы, знание используемых источников, умение сопоставлять различные точки зрения. Важно не механическое их сопоставление или бездоказательная критика отдельных авторов, а стремление к тому, чтобы отстаиваемые или разделяемые студентом суждения были подкреплены теоретическими положениями, фактами и конкретными примерами.

Если в работе критически рассматривается точка зрения какого-либо автора, при изложении его мысли следует приводить цитаты, только при этом условии критика может быть объективной. В качестве довода, подтверждающего ту или иную мысль, могут приводиться выводы, полученные специалистами по данной проблеме. В этих случаях допускается передача чужого мнения в форме свободного изложения, либо цитирование специальных мест из опубликованных работ с обязательной ссылкой на источники.

В выпускной квалификационной работе должна быть выдержана логическая связь между главами, последовательное развитие темы и доказательность.

Первая глава, как правило, носит теоретический характер, в ней может приводится обзор отечественной и зарубежной литературы по разрабатываемой проблеме, могут раскрываться основные понятия и сущность изучаемого вопроса, может даваться характеристика исследуемого объекта, обосновываться цель и задачи работы.

Вторая и последующие главы, как правило, содержат описание и результаты самостоятельного теоретического и экспериментального исследования.

Текст работы излагается самостоятельно (не допускается дословное переписывание использованной литературы), последовательно, грамотно и аккуратно, при написании работы необходимо употреблять профессиональные термины, избегать сложных грамматических оборотов. Обучающийся должен показать не только знание материала, но и умение разбираться в нем, творчески использовать основные положения источников. Материал, используемый из других источников, должен быть переработан, органически увязан с избранной обучающимся темой и изложен своими словами с приведением ссылок на источники информации.

Содержание выпускной квалификационной работы должно демонстрировать:

знакомство автора с учебной и научной литературой по теме выпускной квалификационной работы;

умение обобщать и анализировать материал литературных источников, выделить проблему и определить пути ее решения, последовательно изложить существо рассматриваемых вопросов, делать самостоятельные выводы;

владение понятийным и терминологическим аппаратом.

В тексте выпускной квалификационной работы следует избегать использования личных местоимений, заменяя их безличными формами (вместо «я считаю» - «автор считает», «мы полагаем»).

Рекомендуется использование вводных и соединительных слов – *таким образом, из этого следует, в связи и т.д.* – для подчеркивания причинно-следственных связей и выражения личного отношения к излагаемому материалу.

Все страницы основной части выпускной квалификационной работы участвуют в общей нумерации страниц, номера страниц проставляются.

«ЗАКЛЮЧЕНИЕ» выполняет роль концовки, обусловленной логикой проведенного исследования. Оно содержит изложение полученных итогов и их соотношение с общей целью и конкретными задачами, поставленными и сформулированными во введении. Именно здесь содержится «выводное» знание, полученное в результате исследования. В заключении указывается вытекающая из конечных результатов теоретическая и практическая ценность, значимость. Заключительная часть предполагает обобщенную итоговую оценку проделанной работы.

В «ЗАКЛЮЧЕНИИ» находят отражение основные положения и выводы, содержащиеся во всех главах работы.

Объем заключения – 3-4 страницы.

Нумерация страниц, на которых приводится текст заключения, должна продолжать общую нумерацию страниц основного текста.

Список использованных источников является составной частью работы и отражает степень изученности рассматриваемой проблемы. При этом в список использованных источников включаются, как правило, те источники, на которые в работе имеются библиографические ссылки. Использованные источники должны содержать их полное описание по требованиям стандартов.

Порядок оформления списка использованных источников представлен в приложении 9.

Нумерация страниц, на которых приводится текст списка использованных источников, должна продолжать общую нумерацию страниц основного текста.

В *приложения* следует выносить вспомогательный материал, который при включении в основную часть работы загромождает текст.

К вспомогательному материалу относятся таблицы цифровых данных, инструкции, методики, иллюстрации вспомогательного характера, заполненные формы документов, выдержки из локальных нормативных актов и др.

Нумерация страниц, на которых даются приложения, должна продолжать общую нумерацию страниц основного текста.

Объем выпускной квалификационной работы должен составлять – 70-110 страниц компьютерного набора (без приложений).

При выполнении выпускной квалификационной работы обучающийся должен продемонстрировать навыки работы на персональном компьютере (например, статистическая обработка материалов, выполнение графических построений, проведения математических расчетов, использование программного обеспечения для решения конкретных задач, поставленных в работе).

1.1.6 Руководство выпускной квалификационной работой

Общее руководство и контроль за ходом выполнения ВКР осуществляет выпускающая кафедра в лице руководителя ВКР. Руководитель ВКР:

помогает обучающемуся с выбором темы и разработкой плана работы;

оформляет задание на выполнение выпускной квалификационной работы;

оказывает обучающемуся помощь в разработке календарного графика на весь период выполнения выпускной квалификационной работы;

рекомендует обучающемуся необходимую литературу, нормативную документацию по теме;

систематически контролирует ход работы и информирует кафедру о состоянии дел;

дает подробный отзыв на законченную работу.

Проверяя работу, руководитель не должен превращаться в корректора или редактора, хотя замечания в этой части он тоже высказывает. Руководитель ВКР выявляет полноту, глубину и всесторонность рассмотрения поставленных в плане вопросов, последовательность изложения материала, достаточность использования литературы, аргументированность выводов, степень их обоснованности и самостоятельности. В случае обнаружения плагиата, ошибочных решений и научных положений по тем или иным вопросам, неполноты или поверхностности исследования, противоречивости, излишнего отклонения от темы и других недостатков руководитель предлагает выпускнику устранить их, рекомендует пути и сроки их устранения.

Руководитель ВКР помогает выпускнику на всех этапах его работы, но эта помощь не должна выливаться в соавторство. Отношения руководителя со обучающимся строятся на основе сотрудничества.

1.2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1.2.1 Основные этапы выполнения выпускной квалификационной работы

Соблюдение установленных сроков и последовательности выполнения выпускной квалификационной работы направлено на оптимизацию процесса достижения поставленных целей.

Рекомендуется следующая последовательность этапов выполнения выпускной квалификационной работы:

выбор темы работы, её утверждение;

подбор литературы, нормативной документации и ознакомление с ними;

сбор и обобщение аналитических материалов, анализ;

написание работы и представление её руководителю, доработка по замечаниям руководителя;

написание введения и заключения, подготовка списка использованных источников, приложений, представление работы руководителю ВКР;

прохождение нормоконтроля, исправление замечаний по оформлению работы;

проверка в системе «Антиплагиат. ВУЗ»*;*

размещение работы в портфолио;

подготовка к защите выпускной квалификационной работы: подготовка презентационных материалов, оформление документов на выпускную квалификационную работу.

1.2.2 Подготовка к защите выпускной квалификационной работы

Законченная ВКР, подписанная обучающимся, передается руководителю ВКР для проверки соответствия оформления работы предъявляемым требованиям и составления письменного отзыва руководителя. В отзыве руководителя указываются сведения об актуальности темы работы, достоинства и недостатки работы, оценка подготовленности обучающегося, инициативности и самостоятельности при решении задач выпускной квалификационной работы, умение обучающегося работать с литературными и нормативными источниками, способность ясно и четко излагать материал, соблюдение правил и качества оформления работы. Особое внимание уделяется оценке выпускника по личностным характеристикам (ответственность, дисциплинированность, самостоятельность, активность, творчество, инициативность и т.д.), проявленным способностям к исследовательской деятельности, достигнутым результатам в формировании компетенций выпускника данной программы, мотивируется возможность или невозможность представления выпускной квалификационной работы на защиту в государственной экзаменационной комиссии.

Решение руководителя ВКР является основанием для допуска ВКР к защите. Допуск работы к защите производится заведующим выпускающей кафедры.

Текст ВКР должен быть проверен на объем заимствований в системе «Антиплагиат. ВУЗ», отчет печатается. ВКР размещается в портфолио. Размещение ВКР – не позднее, чем за 3 дня до защиты.

Перед защитой обучающимся представляются в ГЭК следующие документы:

1) ВКР, подписанная на титульном листе выпускником, руководителем ВКР, консультантами (если есть);

2) задание на выполнение работы с отметками сроков окончательной подготовки работы, подписанное руководителем ВКР и заключением кафедры о допуске к защите;

3) отзыв руководителя ВКР;

4) отзыв рецензента (при наличии);

5) отчет о проверке в системе «Антиплагиат. ВУЗ».

Готовясь к защите работы, обучающийся составляет тезисы выступления, содержащего наиболее важные и интересные результаты исследования. При этом следует помнить о том, что выпускнику для доклада отводится ограниченное время; оформляет наглядные пособия, раздаточный материал к докладу, продумывает ответы на замечания рецензента (при наличии).

Доклад на защите выпускной квалификационной работы, как правило, не должен превышать 7-10 мин. Следует помнить, что обучающийся не просто излагает, а защищает положения своей работы.

1.2.3 Защита выпускной квалификационной работы

Защита выпускной квалификационной работы проводится на открытом заседании ГЭК.

Порядок защиты:

- председатель ГЭК объявляет фамилию, имя и отечество выпускника, название работы с указанием места ее выполнения;

- доклад продолжительностью, как правило, не более 7-10 минут, в течении которых он должен кратко сформулировать актуальность, цель и задачи работы, изложить основные результаты, выводы и рекомендации, конкретные предложения, обосновать возможность их реализации, эффективность. При этом необходимо уточнить личный вклад в разработку проблемы.

Обучающийся может пользоваться заранее подготовленным тезисами доклада, но должен излагать основное содержание своей выпускной квалификационной работы свободно, не читая письменного текста. При чтении утрачивается эмоциональность изложения, монотонное чтение текста не привлекает внимания и утомляет слушателей. Свободный рассказ по теме свидетельствует об уровне подготовки и глубине специальных знаний по проблеме выпускной квалификационной работы. Все это существенно влияет на итоговую оценку работы.

Все принципиальные положения выпускной квалификационной работы для большей наглядности могут быть представлены на демонстрационном материале. К демонстрационным материалам относится информация из выпускной квалификационной работы (таблицы, диаграммы, схемы, иллюстрации и пр.), оформленная в виде презентаций или ксерокопий для каждого члена ГЭК. Во время доклада необходимо ссылаться на эти материалы;

- после окончания доклада члены ГЭК и присутствующие на защите предлагают выпускнику вопросы, касающиеся устного выступления, имеющие непосредственное отношение к теме работы, или же просто в связи с обсуждаемой проблемой;

- зачитывается внешняя рецензия на выпускную квалификационную работу (при наличии);

-выступление руководителя выпускной квалификационной работы, а в случае его отсутствия секретарь ГЭК зачитывает отзыв руководителя;

- председатель ГЭК предоставляет желающим слово для выступления, затем выпускнику, которое предполагает ответы на замечания рецензента и всех, выступивших при обсуждении работы, после чего объявляет об окончании защиты.

После окончания открытой защиты проводится закрытое заседание ГЭК (возможно с участием руководителей), на котором определяются итоговые оценки по четырехбалльной системе («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»). После закрытого обсуждения председатель объявляет решение ГЭК. Протокол заседания ГЭК ведется секретарем. В него вносятся все заданные вопросы, особые мнения, решение комиссии об оценке.

II КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Оценка выпускной квалификационной работы производится по пяти группам критериев:

Система оценивания по оценочным средствам государственной итоговой аттестации

Оценочное средство	Максимальная стоимость в баллах	Критерии начисления баллов
Выпускная квалификационная работа	0-90 балл	Качество выполненной работы, ее научно-теоретический уровень, степень самостоятельности и логичность изложения материала, правильность оформления и результат ее защиты
Отзыв руководителя ВКР	0-15 баллов	Ответственность, дисциплинированность, стремление к достижению высоких результатов самостоятельность, добросовестность в выполнении ВКР, контактность….
Отзыв рецензента ВКР	0-5 баллов	…….
Ответы на вопросы (проверка компетенций)	0-5 баллов	Полнота и правильность ответа
Итого	115 баллов	

Оценка по итогам государственной итоговой аттестации определяется простым суммированием баллов:

Критерии оценки	*Количество баллов*
Критерии содержания ВКР	
обоснованность выбора и актуальность темы исследования	0-5
обоснование практической и теоретической значимости исследования	0-5
уровень теоретической проработки проблемы, осмысления теоретических вопросов и обобщения собранного материала	0-5
умение представить литературный обзор проблемы исследования	0-5
широта и качество использованных источников	0-5
объем и уровень анализа профессиональной, научной литературы, релевантность, полнота, корректность и содержание цитирования	0-5
умение правильно применить необходимые для решения проблемы нормативные правовые акты (документы) в объяснении конкретной ситуации деятельности организации	0-5
наличие в ВКР результатов, которые в совокупности решают конкретную научную и (или) практическую задачу, или - результатов (теоретических и (или) экспериментальных), которые имеют существенное значение для развития конкретных направлений в опре-	0-5

деленной отрасли науки (деятельности), или – научно-обоснованных разработок, использование которых в полном объёме обеспечивает решение прикладных задач	
умение логические верно, аргументированно и ясно излагать материалы исследования в ВКР	0-5
обоснованность и четкость сформулированных выводов	0-5
адекватность использования методов исследования	0-1
умение использовать компьютерные технологии в режиме пользователя для решения профессиональных задач	0-5
Критерии оформления ВКР	
владение научным стилем изложения, орфографическая и пунктуационная грамотность	0-5
соответствие формы представления работы требованиям, предъявляемым к оформлению данных работ	0-5
Критерии процедуры защиты	
качество устного доклада: соответствие доклада содержанию работы, логичность, точность формулировок, обоснованность выводов, культура речи	0-5
владение профессиональной терминологией и навыками профессиональной аргументации	0-4
презентационные навыки: структура и последовательность изложения материала, соблюдение временных требований, использование презентационного оборудования и/или раздаточного материала, грамотность оформления иллюстрационных материалов, выразительность использования, контакт с аудиторией	0-5
поведение при защите (коммуникационные характеристики (культура) докладчика (речь, манера говорить, отстаивать свою точку зрения, привлекать внимание к важным моментам в докладе или ответах на вопросы)	0-5
качество ответов на вопросы членов ГЭК: логичность, глубина, правильность и полнота ответов	0-5
Отзыв рецензента ВКР	
теоретическая значимость исследования; анализ представленных методик исследования; практическая значимость исследования; степень полноты обзора состояния проблемы и корректность постановки задачи; уровень и корректность использования в работе методов исследования; степень комплексности работы, применение в ней знаний социально-гуманитарных дисциплин, естественно-математических, общепрофессиональных и специальных дисциплин; ясность, четкость, последовательность и обоснованность изложения.	0-5
Отзыв руководителя ВКР	
ответственное отношение к работе, дисциплинированность, стремление к достижению высоких результатов, самостоятельность, добросовестность в выполнении работы, соблюдение сроков представления материалов, контактность	0-5
владеет навыками самостоятельного получения новых знаний, использования современных технологий	0-5
умение систематизировать и обобщать информацию из разных источников	0-5
Теоретические вопросы	
качество ответов на вопросы членов ГЭК: правильность и полнота ответов	0-5
Итого баллов	115

Правила оценивания результатов защиты ВКР

104-115 баллов (90-100%) – оценка **«отлично»;**
81-103 балла (70-89%) – оценка **«хорошо»;**
58-80 баллов (50-69%) – оценка **«удовлетворительно;**
0-57 баллов (0-49%) – оценка **«неудовлетворительно».**

III ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Оценочными средствами результатов обучения на этапе государственной итоговой аттестации являются выпускная квалификационная работа и ее защита по установленной процедуре (доклад, презентация, ответы на вопросы государственной экзаменационной комиссии), позволяющей сделать вывод о сформированности компетенций.

3.1 *Примерная тематика выпускных квалификационных работ*

1. Интеллектуальная система управления транспортной сети шахты «Центральная» ООО «Березовский рудник».
2. Система управления двигателем «*Указывается горная машина*».
3. Систему управления мехатронным модулем движения шахтного вентилятора местного проветривания.

3.2 *Теоретические вопросы государственной итоговой аттестации, оценивающие сформированность универсальных компетенций:*

1. Каковы главные особенности научного знания в отличие от религиозных представлений о мире?
2. Что, по вашему мнению, является важнейшим фактором развития общества в современном мире?
3. В каких формах осуществляется влияние научного знания на развитие экономики, культуры, духовной жизни и общества в целом?
5. Каково значение коммуникативных навыков для успешной деятельности производственного коллектива?
6. В чем вы видите основные причины необходимости овладения навыками общения на иностранном языке для успешного решения профессиональных задач в современных условиях?
7. В чем проявляется толерантность в восприятии социальных, этнических, конфессиональных и культурных различий?
8. Чем обусловлена необходимость овладения правовой культурой для достижения высоких экономических результатов в современных условиях?
9. Какая формулировка образовательных потребностей специалиста в современных условиях является более актуальной: «образование для всей жизни» или «образование в течение всей жизни»?
10. В чем состоит профессиональная самореализация работника?
11. В чем вы видите значение здорового образа жизни, овладения методами и средствами физической культуры для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности?
12. Чем обусловлена в настоящее время необходимость овладения приемами первой помощи, методами защиты в условиях чрезвычайных ситуаций?
13. Каков порядок действий мастера смены при обнаружении пожара?
14. Каков порядок действий мастера смены в чрезвычайной ситуации (стихийное бедствие)?
15. Определение понятия «качество продукции горно-добывающего производства».
16. Какие меры может предпринять главный инженер предприятия для повышения экономической эффективности предприятия в целом?

17. Что представляют собой кондиции на полезное ископаемое и для чего они необходимы?

18. Объясните, как Вы понимаете термин «техногенное сырьё». Каковы перспективы развития обогащения этого вида сырья?

19. Как проявляется негативное влияние разубоживания на результаты деятельности горно-металлургической компании и на интересы государства?

20. Какова, на Ваш взгляд, роль высшего технического образования для подготовки кадров в области добычи полезных ископаемых?

3.3 *Теоретические вопросы государственной итоговой аттестации, оценивающие сформированность общепрофессиональных компетенций:*

1. Каковы, на Ваш взгляд, основные информационные источники необходимые в работе специалиста на производстве?

2. Каковы, на Ваш взгляд, основные информационные источники необходимые в работе специалиста в научно-исследовательском секторе?

3. Каковы, на Ваш взгляд, основные информационные источники необходимые в работе специалиста в проектной организации?

4. Перечислите основные требования информационной безопасности, применяемые на современных предприятиях.

5. Какие основные формы устного и письменного общения являются традиционными для специалиста на производстве?

6. Какие основные формы устного и письменного общения являются традиционными для специалиста в научно- исследовательском секторе?

7. Какие основные формы устного и письменного общения являются традиционными для специалиста в проектной организации?

8. Каковы основные права и обязанности горного мастера смены?

9. Каковы основные права и обязанности заведующего научно-исследовательской лабораторией?

10. Каковы основные права и обязанности главного инженера предприятия?

11. Перечислите основные направления рационального и комплексного освоения недр при добыче и переработке твёрдых полезных ископаемых.

12. Как Вы понимаете термин «ресурсосбережение»? Как это учтено в Вашей ВКР?

13. Назовите основные производственные процессы при строительстве шахт и подземных сооружений

14. Основные организационные мероприятия безопасного проведения взрывных работ

15. Какие цели достигаются при применении подземного дробильного комплекса?

16. Принципы и способы управления качеством руды в руднике.

17. Зачем необходимо повышать уровень своей профессиональной компетентности?

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Форма заявления на утверждение темы выпускной квалификационной работы

Зав. кафедрой _____
_____
обучающегося группы _____
_____

Заявление
на утверждение темы выпускной квалификационной работы

Прошу утвердить тему выпускной квалификационной работы (из числа предложенных университетом):
_____
_____

Прошу утвердить самостоятельно определенную тему выпускной квалификационной работы
_____
_____

Место прохождения производственной (преддипломной) практики:
_____
_____

Руководитель ВКР_____
(Ф.И.О., ученая степень, ученое звание, должность)

Дата _____ Подпись обучающегося _____

Решение зав. кафедрой

«УТВЕРЖДАЮ»

_____

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Форма оформления титульного листа выпускной квалификационной работы

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРИАТ/СПЕЦИАЛИТЕТ /МАГИСТРАТУРА)

ТЕМА:_____
_____

Факультет:_____

Направление/Специальность:
_____

Профиль/специализация:
_____

Квалификация:
_____

Кафедра:_____

Обучающийся: _____(*подпись*)
Фамилия И.О.
Группа:

*Руководитель:*_____(*подпись*)
Фамилия И.О.

Консультант: _____(*подпись*)
Фамилия И.О.

_____
(подпись)
Допустить к защите:
Зав. кафедрой _____
(Фамилия И.О., ученая степень, ученое звание)

Екатеринбург
202_

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Пример оформления задания на выполнение выпускной квалификационной работы

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра_____

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой_____
_____
«___»_____20__ г.

ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ
для присвоения квалификации _____ по направлению подготовки/
специальности _____ направленности (профилю)
/специализации _____

Обучающемуся_____
(фамилия, имя, отчество полностью)

Тема выпускной квалификационной работы_____
_____
_____

Руководитель работы_____
(фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание)

Консультанты по разделам:

Фамилия И.О. консультанта	Должность, ученая степень, ученое звание	Разделы работы

Дата выдачи задания «___» _____ 20____г.

Срок сдачи обучающимся законченной выпускной квалификационной работы «___» _____ 20__г.

Исходные данные для выполнения выпускной квалификационной работы:

Содержание расчетно-пояснительной записки:

Демонстрационный материал:

Руководитель ВКР _____
(подпись)

Обучающийся _____
(подпись)

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Примерная форма отзыва руководителя выпускной квалификационной работы

ОТЗЫВ РУКОВОДИТЕЛЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Выпускная квалификационная работа выполнена

Обучающимся	*Фамилия Имя Отчество*
Специальность	15.03.06 Мехатроника и робототехника
Направленность (профиль)	Мехатроника и робототехника промышленных производств
Кафедра	Технической механики
Группа	МИР-24
Руководитель ВКР	Доцент, к.т.н. *Фамилия Имя Отчество*

Общая характеристика работы студента в период выполнения ВКР: _____
_____
_____
_____

Актуальность темы _____
_____
_____

Степень достижения целей ВКР _____
_____
_____

Общая характеристика теоретической части (глубина разработки проблемы, логика изложения и проч.) _____
_____
_____

Общая характеристика практической части работы (наличие элементов практической новизны, наличие и значимость практических предложений и рекомендаций) _____
_____
_____

Степень владения профессиональными знаниями, умениями и навыками _____
_____
_____

Замечания к ВКР _____
_____
_____

Заключение: _____

Руководитель: _____ «___» _____ 20____ г.
подпись

Обучающийся: _____ «___» _____ 20____ г.
подпись

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Примерная форма отзыва рецензента о выпускной квалификационной работе

ОТЗЫВ
РЕЦЕНЗЕНТА О ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

Фамилия И.О. выпускника	*Фамилия Имя Отчество*
Специальность	15.03.06 Мехатроника и робототехника
Направленность (профиль)	Мехатроника и робототехника промышленных производств
Тема рецензируемой работы	*ТЕМА РАБОТЫ*
Рецензент место работы, должность (при наличии)	*Фамилия Имя Отчество*, ООО «Березовское РУ», гл. инженер

Заключение о степени соответствия выпускной квалификационной работы заданию_____

Оценка теоретической части ВКР (теоретическая значимость исследования, анализ использованных источников) _____
_____

Оценка аналитической части ВКР (анализ представленных методик исследования)
_____
_____

Оценка проектной части ВКР (практическая значимость исследования)
_____
_____

Логичность, четкость, грамотность изложения материала_____
_____

Оценка сформированности компетенций, предусмотренных федеральным государственным образовательным стандартом:

ВКР демонстрирует (высокий, средний, низкий) уровень сформированности универсальных компетенций и (высокий, средний, низкий) уровень сформированности общепрофессиональных и профессиональных компетенций.

Замечания и рекомендации (к публикации, внедрению, представлению на конкурс) по ВКР_____
_____

Общая оценка ВКР_____

Рецензент: _____ Фамилия И.О.
(подпись)
«_____» _____ 20____г.

Обучающийся: _____ Фамилия И.О.
(подпись)
«_____» _____ 20____г.

М.П

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

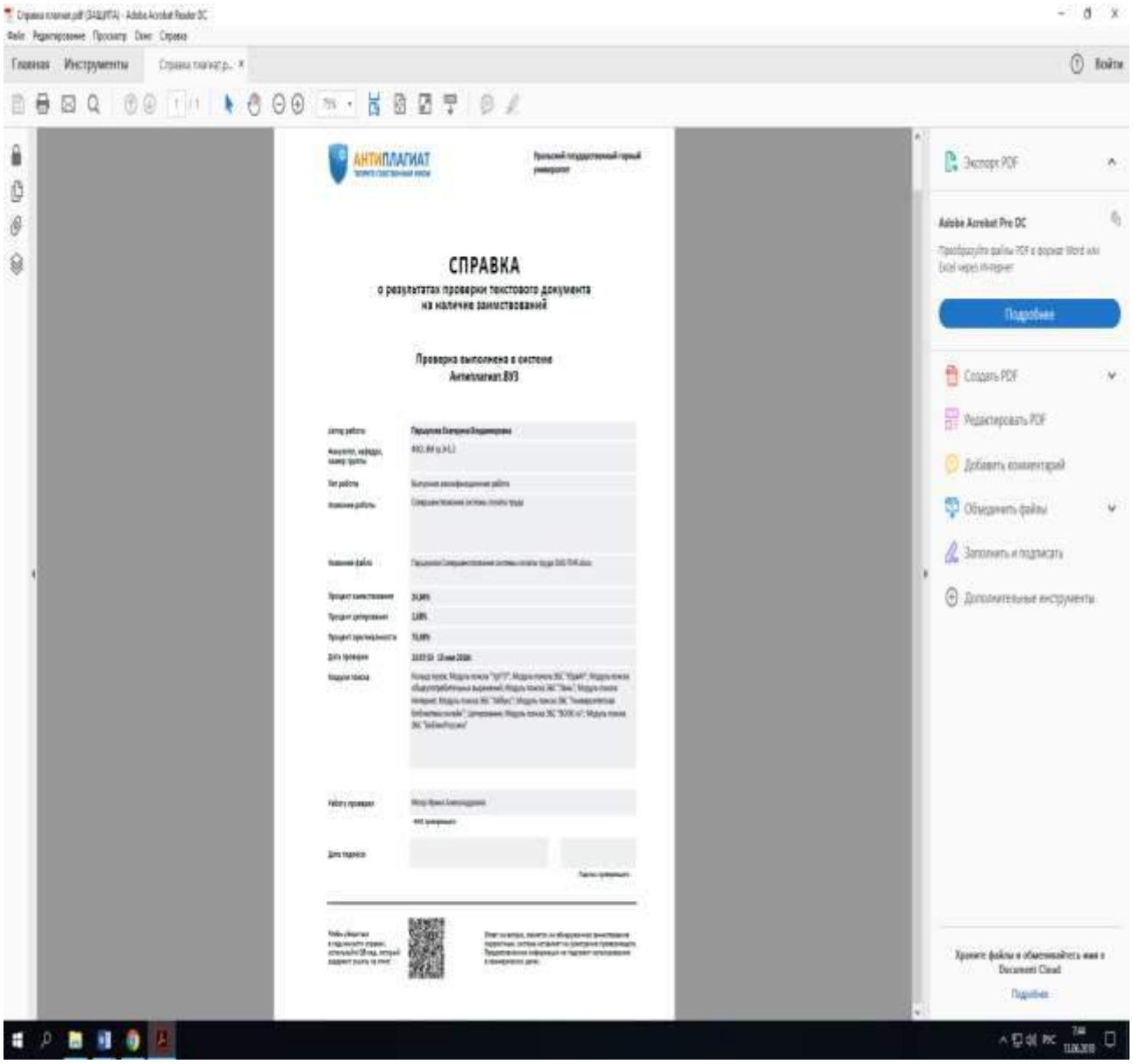
Пример оформления документа, подтверждающего использование результатов выпускной квалификационной работы

СПРАВКА
об использовании результатов выпускной квалификационной работы
на тему: «_____»

Выводы и предложения, представленные в работе Смирнова С.С. нашли применение в практической деятельности шахты «Центральная» ООО «Березовский рудник», в частности, при разработке интеллектуальной системы управления транспортной сети.

Рекомендации автора по совершенствованию интеллектуальной системы управления транспортной сети шахты взяты за основу при разработке перспективных планов развития горных работ в ООО «Березовский рудник».

Гл. инженер ООО «Березовский рудник» _____ И.О. Фамилия
(подпись)



АНТИПЛАГИАТ

СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Проверка выполнена в системе
Антиплагиат.ВУЗ

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Пример структуры и оформления содержания выпускной квалификационной работы

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1 …….	6
1.1 ……	6
1.2 …….	..
1.3 ……	..
2 ……	
2.1 ……	
2.2 …..	
Заключение	
Список использованных источников	
Приложения	

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Примеры библиографических описаний, применяемых при оформлении списка использованных источников

1. Об основополагающих принципах и правах в сфере труда и механизм её реализации [Текст]: Декларация МОТ от 18.06.1998 // МБТ.1998.

2. Конституция Российской Федерации [Электронный ресурс]: Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». - Режим доступа: http://www.consultant.ru.

3. Трудовой кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 30.12.2001 г. № 197-ФЗ (в ред. от 05.10.2015) – Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». - Режим доступа: http://www.consultant.ru.

4. О безопасности [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 28.12.2010 г. № 390-ФЗ – Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». - Режим доступа: http://www.consultant.ru.

5. Об общих принципах организации законодательных (представительных) и исполнительных органов власти субъектов Российской Федерации [Текст]: Федеральный закон от 06.10.1999 г. № 184-ФЗ // Собрание законодательства РФ. - 1999. - № 43.

6. О концепции национальной безопасности Российской Федерации [Текст]: Указ Президента Российской Федерации от 10 января 2000 г. № 24 // Собрание законодательства РФ. - 2000. - № 2.- Ст.170.

7. О порядке разработки и утверждения административных регламентов исполнения государственных функций (предоставления государственных услуг) [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 11.11.2005 г. № 679. - Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru.

8. Булаевский, Б.А. Правовое положение несовершеннолетних по российскому гражданскому законодательству [Текст]: Автореф. дисс. … к.ю.н. М., 1998.

9. Гаврилов, Э. О наименовании юридического лица [Текст] / Э.О. Гаврилов // Хозяйство и право. - 2011. - № 12. - С. 3 – 11.

10. Мачульская, Е.Е. Право социального обеспечения [Текст]: учебник для бакалавров / Е.Е. Мачульская. – М.: Изд-во Юрайт, 2012. – 575 с.

11. Черткова, Е.Л. Утопия как способ постижения социальной действительности [Электронный ресурс] / Е.Л. Черткова // Социемы: журнал Уральского гос. ун-та. – 2002. - № 8. – Режим доступа: http://2www/usu.ru/philosoph/chertkova.

12. Цивилистические записки: [Текст]: Межвузовский сборник научных трудов. Выпуск 2. – М.: «Статут» - Екатеринбург: Институт частного права, 2002. – 511 с.

13. Юридический советник [Электронный ресурс]. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM): зв., цв.; 12 см. – Прил.: Справочник пользователя [Текст]/ сост. В.А. Быков. – 32 с.

14. Временные методические рекомендации по вопросам реструктуризации бюджетной сферы и повышения эффективности расходов региональных и местных бюджетов (Краткая концепция реструктуризации государственного и муниципального сектора и повышения эффективности бюджетных расходов на региональном и местном уровнях) [Текст]. - М.: ИЭПП, 2006. - 67 с.

15. Свердловская область в 1992-1996 годах [Текст]: Стат. сб./ Свердл. обл. комитет гос. статистики Госкомстата РФ. – Екатеринбург, 1997. – 115 с.

16. Социальное положение и уровень жизни населения России в 2010 г. [Текст]: Стат. сб. / Росстат. – М., 2011. – 320 с.

17. Социально-экономическое положение федеральных округов в 2010 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://www.gks. Ru.

18. An Interview with Douglass C. North [Text] // The Newsletter of The Cliometric Society. - 1993. - Vol. 8. - N 3. - P. 23–28.

19. Burkhead, J. The Budget and Democratic Government [Text] / Lyden F.J., Miller E.G. (Eds.) / Planning, Programming, Budgeting. Markham: Chicago, 1972. 218 p.

20. Miller, D. Strategy Making and Structure: Analysis and Implications for Performance [Text] // Academy of Management Journal. - 1987. - Vol. 30. - N 1. - P. 45–51.

21. Министерство финансов Российской Федерации: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.minfin.ru.

22. Российская книжная палата: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.bookchamber.ru.

23. Инструкция по делопроизводству в ООО «СК-групп» [Текст]. - Екатеринбург, 2012. – 26 с.

24. Бухгалтерский отчет ЗАО «ФНК» за 2012 год [Текст]. - Екатеринбург, 2013. – 14 с.

25. Правила внутреннего трудового распорядка АО «Маяк» [Текст]. - Екатеринбург, 2010. – 22 с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А.Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.В.01 ОСНОВЫ МЕХАТРОНИКИ И РОБОТОТЕХНИКИ

Направление -
15.03.06 Мехатроника и робототехника
Профиль -
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Волков Е.Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение …….…….. 4

Тема 1. Базовые определения мехатроники и робототехники 4

Тема 2. Общие тенденции развития мехатроники и робототехники …….. 5

Тема 3. Технологическое обеспечение мехатронных и робототехнических систем……. 7

Тема 4. Современные требования к мехатронным и робототехническим модулям и системам……. 8

Тема 5. Концепция построения интеллектуальных мехатронных и робототехнических систем…… 9

Тема 6. Исполнительные модули мехатронных и робототехнических систем…… 11

Тема 7. Измерительно-информационные модули мехатронных и робототехнических систем…… 12

Тема 8. Модули управления мехатронными и робототехническими системами…….. 13

Тема 9. Технологические мехатронные системы…….. 14

Тема 10. Роботы и робототехнические системы…… 16

Тема 11. Транспортные мехатронные и робототехнические системы……. 18

Тема 12. Большие современные мехатронные системы различного назначения…….. 20

Тема 13. Перспективные задачи и направления развития мехатроники и робототехники…… 21

Библиографический список…….. 23

Введение

Предметом самостоятельной подготовки студентов в рамках учебного курса «Основы мехатроники и робототехники» являются мехатронные и робототехнические системы, их область применения и концепции их построения.

В основу курса положены современная теория и практика разработки мехатронных и робототехнических модулей и систем, включая собственные разработки автора.

Самостоятельная работа студентов включает в себя дополнительное самостоятельное изучение теоретического материала по темам рабочей программы с использованием рекомендуемой литературы и разъяснений к ней.

При работе с литературой студенты могут в индивидуальном темпе и стиле проводить собственный анализ изучаемого материала, систематизировать его, а благодаря зрительной памяти наиболее эффективно запомнить большее количество информации.

Самостоятельная работа студентов включает также подготовку к практическим занятиям (в соответствии с рабочей программой дисциплины) и подготовку к зачету и экзамену.

Проверка преподавателем самостоятельной работы осуществляется на консультациях, во время практических занятий, а также на зачете и экзамене.

Тема 1. Базовые определения мехатроники и робототехники

Изучение теоретического материала при помощи учебной литературы

В первую очередь необходимо познакомиться с различными интерпретациями понятий «мехатроника» и «робототехника», с соответствующими дополнительными комментариями к этим определениям.

Далее необходимо освоить базовые понятия мехатроники и робототехники: мехатронные модули движения, информационно-измерительные модули,

мехатронные модули систем управления, мехатронная машина и мехатронные процессы.

В заключение данной темы необходимо четко сформулировать основные отличия мехатронной машины от традиционной машины.

На самостоятельное освоение данной темы отводится 4 часа.

Подготовка к практическому занятию № 1

Практическое занятие включает знакомство с техническим оснащением кафедры «Мехатроника».

Контрольные вопросы по теме

1. Прокомментируйте основные понятия «мехатроника» и «робототехника». Укажите их общность и различие.
2. Сформулируйте цель, предмет и методы мехатроники и робототехники.
3. Сформулируйте определение термина «мехатронный модуль движения».
4. Сформулируйте определение термина «мехатронная машина».
5. Сформулируйте определение термина «информационно-измерительные модели».

Литература

[1] Лекция 2, с. 16–25.

[3] Глава 1, с. 16–22.

Тема 2. Общие тенденции развития мехатроники и робототехники

Изучение теоретического материала при помощи учебной литературы

Освоить понятие «синергетическое объединение» элементов мехатронных и робототехнических модулей и систем. Освоение понятий «интеграция», «интеллектуализация» и «миниатюризация», определяющих основные направления развития мехатронных и робототехнических систем.

От студентов требуется понимание пяти основных принципов организации интеллектуальных систем управления и основных направлений интеллектуализации мехатронных и робототехнических систем.

Студентам необходимо проследить основные этапы интеграции и миниатюризации мехатронных и робототехнических систем, а также иметь четкое представление о том, что все три направления развития мехатронных систем взаимосвязаны и влияют друг на друга.

На самостоятельное освоение данной темы отводится 4 часа.

Подготовка к практическому занятию № 2

Практическое занятие предполагает просмотр и обсуждение видеофильмов «Основы мехатроники», «Мобильные роботы».

Контрольные вопросы по теме:

1. Отличие мехатронных систем от традиционных механических и электромеханических управляемых систем.
2. Основные направления развития мехатронных систем.
3. Сформулируйте пять принципов организации интеллектуальных систем управления.
4. Требования, предъявляемые к функциональным характеристикам современных машин и комплексов.

5. В чем проявляется взаимосвязь трех основных направлений развития мехатроники и робототехники.
6. Историческая классификация мехатронных модулей по уровню синергетического объединения элементов модулей.

Литература

[1] Лекция 2, с. 25–34.

Тема 3. Технологическое обеспечение мехатронных и робототехнических систем

Изучение теоретического материала при помощи учебной литературы

Студентам необходимо освоить основные понятия, связанные со структурной и технологической пирамидами мехатроники: главные структурные части (механика, электроника, информатика) и базовые технологии мехатроники (гибридные технологии электромеханики, цифровые технологии управления движением, технологии автоматизированного проектирования).

При изучении базовых технологий мехатроники студентам необходимо понять концептуальную сущность указанных технологий и аппаратные средства для их реализации.

На самостоятельное освоение данной темы отводится 8 часов.

Подготовка к практическим занятиям № 3, № 4

Практические занятия предполагают применение конструкторов Lego и программных комплексов RoboLab для конструирования мобильных роботов.

Контрольные вопросы по теме

1. Назовите главные части мехатроники.

2. Назовите современные уровни развития базовых частей мехатронных систем.
3. Укажите три гибридные синергетические направления мехатронных систем.
4. Назовите главные базисные технологии мехатроники.
5. Охарактеризуйте современный уровень развития базисных технологий.
6. Назовите комбинированные технологии мехатроники.

Литература

[1] Лекция 3, с. 35–47.

[3] Глава 1, с. 70–86.

Тема 4. Современные требования к мехатронным и робототехническим модулям и системам

Изучение теоретического материала при помощи учебной литературы

Студенты должны понимать и формулировать стратегические, тактические и прикладные уровни требований к мехатронным и робототехническим модулям и системам. Проследить взаимосвязь и взаимообусловленность этих уровней требований.

Студенты должны изучить примеры систем, отвечающих прикладным требованиям, предъявляемым к мехатронным и робототехническим модулям и системам.

Студенты должны попытаться сформулировать дополнительные прикладные требования к мехатронным и робототехническим системам.

На самостоятельное освоение данной темы отводится 10 часов.

Подготовка к практическим занятиям № 5, № 6, № 7

Практические занятия предполагают изучение различных систем, отвечающих прикладным требованиям, предъявляемым к мехатронным и робототехническим модулям и системам.

Контрольные вопросы по теме

1. Сформулируйте стратегические требования к мехатронным и робототехническим системам.
2. Сформулируйте тактические требования к мехатронным и робототехническим системам.
3. Сформулируйте прикладные требования к функциональным и структурно-конструктивным показателям мехатронных и робототехнических систем.
4. Приведите примеры систем, отвечающих прикладным требованиям, предъявляемым к мехатронным и робототехническим системам.

Литература

[1] Лекция 4, с. 55–91.

Тема 5. Концепция построения интеллектуальных мехатронных и робототехнических систем

1. Изучение теоретического материала при помощи учебной литературы.

Студенты должны освоить определение интеллектуальных мехатронных и робототехнических систем, базу построения интеллектуальных систем управления (ситуационное управление и информационные технологии обработки знаний, обобщенную структуру интеллектуальных систем управления).

Кроме того, студенты должны изучить основные принципы проектирования мехатронных систем, познакомиться с общим алгоритмом проектирования

мехатронных и робототехнических систем (два этапа функционально-структурного подхода к проектированию мехатронных систем).

Студенты должны изучить основы построения экспертных систем. Познакомиться с основами автоматизированного проектирования мехатронных систем.

На самостоятельное освоение данной темы отводится 10 часов.

Подготовка к практическим занятиям № 8, № 9

На практических занятиях изучаются функциональные и структурные схемы интеллектуальных мехатронных и робототехнических модулей и систем, а также принципы построения и области применения экспертных систем.

Контрольные вопросы по теме

1. Сформулируйте признаки интеллектуальных систем управления, интеллектуальных мехатронных модулей и систем.
2. Какие современные информационные технологии используются в интеллектуальных системах управления?
3. Опишите основные блоки интеллектуальных систем управления.
4. Сформулируйте две основные идеи, на которых базируются интеллектуальные системы управления.
5. Сформулируйте понятие «совмещенное (параллельное) проектирование».
6. Объясните суть и значение для мехатроники синергетической интеграции элементов, входящих в состав системы.
7. Объясните суть модульного принципа проектирования мехатронных систем.
8. Чем объясняется широкое использование в мехатронных системах принципа перераспределения функциональной нагрузки от аппаратных модулей к информационным (компьютерным) модулям?

9. Опишите общий алгоритм проектирования мехатронных и робототехнических модулей.
10. Сформулируйте определение экспертной системы.
11. Укажите базовые функции экспертных систем.

Литература

[1] Лекция 3, с. 48–54; лекция 4, с. 94–100.

Тема 6. Исполнительные модули мехатронных и робототехнических систем

Изучение теоретического материала при помощи учебной литературы

Студенты должны изучить модули движения (мотор-редукторы, мотор-колеса, мотор-шпиндели, пьезоэлектрические модули, бионические модули, искусственную мышцу), мехатронные модули движения (безредукторный поворотный стол, автономный ортопедический аппарат), интеллектуальные модули движения (модуль для вальцовочных соединений, транспортный мобильный робот). Особое внимание необходимо обратить внимание на конструкцию и системы управления различных исполнительных модулей.

На самостоятельное освоение данной темы отводится 4 часа.

Подготовка к практическому занятию № 10

На практическом занятии изучаются конкретные примеры модулей движения.

Контрольные вопросы по теме

1. Сформулируйте определения «модуль движения», «мехатронный модуль движения», «интеллектуальный модуль движения» и различия между этими модулями.

2. Принцип действия пьезоэлектрических приводов и бионических модулей движения.
3. Основные элементы интеллектуальных мехатронных модулей движения.
4. Классификация движителей мобильных систем.
5. Примеры модулей движения.

Литература

[1] Глава 3, с. 352–392.

Тема 7. Измерительно-информационные модули мехатронных и робототехнических систем

Изучение теоретического материала при помощи учебной литературы

Студенты должны изучить структурную и функциональную схемы передачи и обработки информации в мехатронных и робототехнических системах: усиления, нормирования (компандирования); фильтрация и преобразование в цифровую форму (дискретизация и квантирование сигнала по времени и кодирование); устройство связи с объектом; интерфейсы.

Далее студенты должны изучить измерительно-информационные модули различного назначения: механолюминесцентные сенсорные устройства сосредоточенного, распределенного и встроенного типов; двухкоординатный датчик силы микроманипулятора; скоростная путеобследовательская станция. При этом в первую очередь необходимо обратить внимание на принцип действия и структурные схемы измерительно-информационнных модулей.

На самостоятельное освоение данной темы отводится 4 часа.

Подготовка к практическому занятию № 11

На практическом занятии изучаются примеры измерительно-информационных модулей различного назначения.

Контрольные вопросы по теме

1. Основные элементы измерительно-информационных модулей.
2. Типовая структурная схема измерительно-информационных модулей.
3. Основные типовые операции и преобразования информационных сигналов в измерительно-информационных модулях.
4. Примеры измерительно-информационных модулей.

Литература

[4] Глава 3, с. 439–457.

Тема 8. Модули управления мехатронными и робототехническими системами

Изучение теоретического материала при помощи учебной литературы

Студенты должны изучить особенности постановки задач управления в мехатронике. Принцип построения модулей управления. Иерархия управления в мехатронных системах. Степень интеллектуализации систем управления. Принципы построения интеллектуальных систем. Модули многоуровневых систем управления на исполнительном, тактическом и стратегическом уровнях (на различных слоях интеллектуальности).

Необходимо проанализировать природу (источники) возникновения неопределенностей, связанных с формированием управляющих воздействий (предсказуемые и непредсказуемые неопределенности). Рассмотреть системы

управления I и II рода в соответствии с характером неопределенностей в системе управления.

Изучить примеры модулей систем управления исполнительного уровня (адаптивное управление, управление с эталонной моделью, нейросетевое управление, нечеткое управление), тактического уровня (система управления движением робота), стратегического уровня (управление движением человека).

На самостоятельное освоение данной темы отводится 4 часа.

Подготовка к практическому занятию № 12

На практическом занятии изучаются системы управления мобильным роботом.

Контрольные вопросы по теме

1. Уровни иерархии управления мехатронными системами.
2. Системы управления I и II рода.
3. Источники неопределенности в мехатронных системах.
4. Четыре слоя обработки неопределенной информации (слои интеллектуальности).
5. Определение адаптивной системы управления.
6. Определение нечеткой системы управления.

Литература

[4] Глава 3, с. 458–467; с. 495–519.

Тема 9. Технологические мехатронные системы

Изучение теоретического материала при помощи учебной литературы

Студенты должны познакомиться с основными методами создания автоматизированных технологических мехатронных систем: технологическое обес-

печение автоматизированных систем. Разработка функционально-структурных схем систем, построение автоматизированных систем управления.

Затем студенты знакомятся с примерами построения мехатронных систем различного технологического назначения: процесс обжига окисленных окатышей, система вспомогательного кровообращения.

Далее студенты знакомятся с основными аспектами создания управления для различных способов производства ответственных изделий из титановых и высокопрочных алюминиевых сплавов для нужд различных отраслей машиностроения. Технологическими машинами с параллельной кинематикой (гексаподы); их конструктивными особенностями, преимуществами систем управления, сферами применения в металлообрабатывающей промышленности. Мехатронным станочным оборудованием с ЧПУ: пятью вариантами архитектурного решения систем ЧПУ (CNC, PCNC-1, PCNC-2, PCNC-3, PCNC-4); особенностями архитектурных решений, аппаратного уровня и программного обеспечения систем ЧПУ, контроллерами управления движением с открытой архитектурой как программной, так и аппаратной частей контроллера.

На самостоятельное освоение данной темы отводится 8 часов.

Подготовка к практическому занятию № 13

Практическое занятие предполагает изучение мехатронных металлообрабатывающих комплексов.

Контрольные вопросы по теме

1. Какими причинами определяется необходимость перехода к интеллектуальным системам управления кузнечнопрессовыми комплексами?
2. Опишите принципы управления процессом изотермического прессования на горизонтальных гидропрессах.

3. Опишите принципы управления процессом изотермической штамповки на вертикальных гидропрессах.
4. Опишите принципы управления процессом гидрорастяжения кольцевых заготовок на гидропрессе.
5. Опишите конструктивные особенности машин с параллельной кинематикой (гексаподов).
6. Укажите основные преимущества гексаподов перед другими технологическими машинами.
7. Укажите основные тенденции построения интеллектуальных контроллеров управления движением технических систем.
8. Какие задачи решает система ЧПУ?
9. Какие имеются архитектурные решения систем ЧПУ?
10. Что такое «открытая архитектура» систем ЧПУ?

Литература

[2] Глава 4, с. 9–47.

Тема 10. Роботы и робототехнические системы

Изучение теоретического материала при помощи учебной литературы

Студенты изучают краткую историю развития робототехники. Классификацию роботов по назначению, конструктивным признакам, способу управления, быстродействию и точности движений. Интеллектуальные робототехнические системы для бытового применения, медицинского обслуживания, досуга и развлечений, военного назначения. Промышленные робототехнические системы и комплексы: сборочные, технологические, кузнечно-прессовые, литья под давлением. Экстремальную робототехнику в промышленности, космосе, подводных роботах. Биоробототехнику, микроробототехнику: микросистемные

технологии, микроэлектромеханические системы, микророботы, микротехнологические модули.

В результате изучения данной темы у студентов должно выработаться целостное представление о роботах и робототехнических системах самого различного применения, принципах их построения.

На самостоятельное освоение данной темы отводится 8 часов.

Подготовка к практическому занятию № 14

На практическом занятии изучается шестистепенной учебный робот «Роботенок».

Контрольные вопросы по теме

1. Опишите краткую историю робототехники.
2. Приведите примеры удачной роботизации различных сфер деятельности человека.
3. По каким признакам производится классификация робототехники?
4. В чем состоит особенность построения и применения промышленных и робототехнических систем?
5. Рассмотрите перспективы специальной робототехники: космической, биологической, медицинской, экстремальной.
6. Назовите основные этапы развития микророботототехники.
7. Каковы перспективы развития микросистем?
8. Раскройте основные способы построения стационарных микросистем.
9. Какие типы приводов используют в мобильных микророботах?
10. Укажите основные области применения интеллектуальных роботов.

Литература

[2] Глава 4, с. 48–79.

Тема 11. Транспортные мехатронные и робототехнические системы

Изучение теоретического материала при помощи учебной литературы

Студенты изучают транспортные и робототехнические системы различного назначения. Железнодорожный транспорт: многофункциональный комплекс технических средств контроля состояния подвижного состава, инженерно-техническое оснащение высокоскоростного подвижного состава (вагоны, локомотивы, ходовые части подвижного состава, тормозное оборудование, устройства наклона кузова вагона). Инерционный накопитель энергии для тяговой цепи. Автомобильный транспорт: системы активной безопасности. Воздушный и водный транспорт: система автоматического управления самолетом (автопилот), дирижабли, автономные подводные аппараты. Нетрадиционные транспортные системы: транспорт с магнитным подвешиванием (магнитопланы), новая железнодорожная транспортная система (система автономных экипажей), трубопроводный транспорт.

На самостоятельное освоение данной темы отводится 8 часов.

Подготовка к практическим занятиям № 15, № 16

На практическом занятии изучается инженерно-техническое оснащение высокоскоростного железнодорожного транспорта и нетрадиционных транспортных систем.

Контрольные вопросы по теме

1. Укажите основные сферы применения мехатронных систем на железнодорожном транспорте.
2. Оцените уровень интеллектуальности железнодорожных систем (включая скоростной и высокоскоростной транспорт).

3. Укажите основные направления применения мехатронных систем в области локомотиво- и вагоностроения (включая рельсовые автобусы).
4. Оцените эффективность и перспективы применения накопителей энергии на железнодорожном транспорте.
5. Основные направления применения мехатронных систем на автомобильном транспорте.
6. Дайте общую характеристику систем активной безопасности движения автомобилей.
7. Какие существуют виды нетрадиционного транспорта?
8. Проанализируйте перспективы применения новой транспортной системы, предложенной в университете Падеборна (Германия).
9. Оцените перспективы высокоскоростного транспорта на магнитной подвеске.
10. Объясните принцип работы автопилота.
11. Каковы перспективы применения нейроконтроллеров в авиационном транспорте? Какими обстоятельствами диктуется необходимость их применения?
12. Для решения каких задач целесообразно применять дирижабли?
13. Сформулируйте тенденции развития дирижаблестроения.
14. В чем специфика управления дирижаблями?
15. Какие задачи призваны решать автономные подводные аппараты?
16. В чем специфика задач управления автономными подводными аппаратами?

Литература

[2] Глава 4, с. 80–164.

Тема 12. Большие современные мехатронные системы различного назначения

Изучение теоретического материала при помощи учебной литературы

Вначале студенты знакомятся с особенностями управления большими современными мехатронными системами. Далее студенты изучают примеры реализации управления большими современными мехатронными системами: коллективное управление группой роботов, дистанционное управление мобильными мехатронными и робототехническими системами посредством сети Интернет, макромоделью активного управления магистральными системами железнодорожного транспорта, интеллектуальной электроэнергетикой.

На самостоятельное освоение данной темы отводится 10 часов.

Подготовка к практическим занятиям № 17

На практическом занятии изучается система активного управления движением автомобильного и железнодорожного транспорта.

Контрольные вопросы по теме

1. Опишите общую структурную схему мобильных робототехнических систем.
2. Опишите обобщенную структуру управления робототехническими системами.
3. В чем состоит основная идея метода локального слежения за движущимися объектами?
4. Опишите структурную схему и основные элементы следящей системы технического зрения (ССТЗ).
5. Опишите обобщенную схему системы дистанционного управления мобильным роботом по сети Интернет.

6. Какие основные идеи закладываются в систему активного управления транспортной сетью (АУТС).
7. Объясните схему работы АУТС.
8. Основные элементы Европейской системы управления движением железнодорожного транспорта (ETCS).
9. Объясните основные аспекты построения и практического применения интеллектуальных сетей энергоснабжения.
10. Укажите ключевые различия между существующими в настоящее время и проектируемыми интеллектуальными сетями энергоснабжения.

Литература

[1] Лекция 4, с. 57–70; с. 100–132.

Тема 13. Перспективные задачи и направления развития мехатроники и робототехники

Изучение теоретического материала при помощи учебной литературы

Студенты должны сформулировать перспективные направления развития мехатронных и робототехнических систем: интеллектуализация систем управления технологическими комплексами различного назначения (металлообработка, транспорт, электроэнергетика), развитие микроэлектромеханических систем (микроробототехника, биоробототехника), создание самодостаточной системы интеллектуальных многофункциональных мехатронных машин для реконфигурируемого производства (построенного по принципу клеточного строения живых организмов из многофункциональных ячеек).

На самостоятельное освоение данной темы отводится 8 часов.

Подготовка к практическому занятию № 18

На практическом занятии рассматриваются перспективы развития микроробототехники.

Контрольные вопросы по теме

1. В каком направлении должна продвигаться интеллектуализация управления технологических металлообрабатывающих комплексов?
2. За счет каких технических средств может осуществляться интеллектуализация робототехнических систем?
3. Какие виды транспортных систем нуждаются в модернизации?
4. Каковы перспективы развития микросистем?
5. Опишите новые служебные и функциональные задачи мехатроники и робототехники. Приведите примеры задач.
6. Дайте описание новых кинематических структур и конструктивных компоновок многокоординатных машин.
7. Поясните перспективы развития интеллектуальных мехатронных и робототехнических систем.

Литература

[1] Лекция 1, с. 9–15; с. 25–34.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Готлиб Б. М., Вакалюк А. А. Введение в специальность «Мехатроника и робототехника»: курс лекций. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2012. – 134 с.
2. Готлиб Б. М. Введение в мехатронику: учеб. пособие: в 2 т. Т.2. Проектирование и применение мехатронных модулей и систем. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2008. – 302 с.
3. Подураев Ю. В. Мехатроника: основы, методы, применение: учеб. пособие. – М.: Машиностроение, 2006. – 256 с.
4. Готлиб Б. М. Введение в мехатронику: учеб. пособие: в 2 т. Т.1. Концептуальные основы мехатроники. – Екатеринбург: УрГУПС, 2008. –521 с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

Методические указания к выполнению лабораторных работ

Б1.В.02 МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Направление -
15.03.06 Мехатроника и робототехника
Профиль -
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Волков Е.Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

Методические указания
к выполнению лабораторных работ

Базаров С.Э., Нестеров А.С., Хусаинов И.М. Методические указания к комплекту учебного оборудования «Старт в мехатронике», исполнение стендовое с ноутбуком, СМ-СН – Челябинск: ООО НПП «Учтех-Профи», 2019.

Методические указания предназначены для студентов электротехнических и технологических специальностей ВУЗов, изучающих курсы «Датчики технологических процессов», «Автоматизация технологических процессов и комплексов», «Мехатронные системы управления» в качестве пособия по выполнению лабораторных работ.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА 4

1.1 Назначение 4

1.2 Состав 5

1.3 Технические характеристики стенда 6

2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ 7

2.1 Работа №1. Изучение программируемого логического реле. 7

2.2 Работа №2. Синтез и анализ алгоритмов управления модуля ленточного конвейера. Изучение дискретной системы управления двигателем постоянного тока совместно с датчиками технологической информации на основе программируемого логического реле 42

2.3 Работа №3. Синтез и анализ алгоритмов управления модуля стекового накопителя 49

2.4 Работа №4. Синтез и анализ алгоритмов управления модуля пневматического манипулятора. 57

2.5 Работа №5. Синтез и анализ алгоритмов управления модуля маятникового перекладчика. 66

2.6 Работа №6. Синтез и анализ алгоритмов управления автоматическими транспортными линиями, состоящих из двух различных мехатронных модулей. 72

2.7 Работа №7. Синтез и анализ алгоритмов управления автоматической транспортной линией, состоящей из четырех мехатронных модулей. 75

ПРИЛОЖЕНИЕ А – Пример программы работы маятникового перекладчика

1. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

1.1 Назначение

Комплект учебного оборудования «Старт в мехатронике» (далее «стенд») предназначен для изучения базовых узлов и принципов построения мехатронных систем и автоматических транспортных линий. В состав стенда входит набор из нескольких мехатронных модулей, которые представляют собой действующие модели промышленных механизмов, оснащенные пневматическими и электрическими приводами. Каждый модуль может работать как самостоятельно, так и совместно с другими модулями, образуя различные вариации автоматических транспортных производственных линий.

Стенд обеспечивает изучение принципов программирования интеллектуальных реле с целью автоматизации управления физическими объектами промышленного назначения и получения практического опыта автоматизации объектов, являющихся макетами реальных объектов. Также лабораторный стенд позволяет изучить основы построения систем цикловой автоматики и систем позиционного управления.

Внешний вид комплекта учебного оборудования представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид комплекта «Старт в мехатронике»

1.2 Состав

В состав лабораторного стенда входит оборудование и комплектующие, перечень которых представлен в таблице 1.

Таблица 1– Состав лабораторного стенда

№	Наименование	Кол-во
1	Лабораторный модуль «Логический модуль LOGO!»	4 шт.
1.1	Программируемое логическое реле LOGO!	1 шт.
1.2	Источник вторичного электропитания	1 шт.
2	Мехатронный модуль стекового накопителя	1 шт.
2.1	Алюминиевая профильная плита	1 шт.
2.2	Узел выдачи заготовок	1 шт.
2.2.1	Магазинная труба для хранения заготовок	1 шт.
2.2.2	Цилиндр двухстороннего действия CD85N10-50-B	1 шт.
2.2.3	Магнитный концевой выключатель D-A93	1 шт.
2.3	Цилиндр одностороннего действия CD85N10-50S-B	1 шт.
2.4	Пневмораспределитель с электроуправлением SY3120-5LOU-C4-Q	2 шт.
2.5	Пневмораспределитель с электроуправлением SY3220-5LOU-C4-Q	1 шт.
2.6	Распределительная коробка UT-R-02	1 шт.
3	Мехатронный модуль ленточного конвейера	1 шт.
3.1	Алюминиевая профильная плита	1 шт.
3.2	Узел конвейера	1 шт.
3.3	Датчик «световой барьер» BUP-50S-P	1 шт.
3.4	Индуктивный датчик ВБИ-М8	1 шт.
3.5	Электрический стоппер	1 шт.
3.6	Наклонный лоток	1 шт.
3.7	Распределительная коробка UT-R-02	1 шт.
4	Мехатронный модуль пневматического манипулятора	1 шт.
4.1	Алюминиевая профильная плита	1 шт.
4.2	Узел пневматического манипулятора	1 шт.
4.2.1	Цилиндр двухстороннего действия MXH20-60Z	1 шт.
4.2.2	Цилиндр двухстороннего действия CDQMB20-40	1 шт.
4.2.3	Параллельный пневмозахват MHZ2-16DN	1 шт.
4.2.3	Магнитный концевой выключатель D-A93	4 шт.
4.3	Распределительная коробка UT-R-02	1 шт.
5	Мехатронный модуль маятникового перекладчика	1 шт.
5.1	Алюминиевая профильная плита	1 шт.
5.2	Узел маятникового перекладчика	1 шт.
5.2.1	Поворотный пневмопривод двустороннего действия CDRB1BW50-90	1 шт.
5.2.2	Вакуумный захват ZH07B	1 шт.
5.2.3	Магнитный концевой выключатель D-R731	1 шт.
5.3	Распределительная коробка UT-R-02	1 шт.

Продолжение таблицы 1 – Состав лабораторного стенда

№	Наименование	Кол-во
6	Набор заготовок	1 шт.
7	Набор датчиков и приводов	1 шт.
7.1	Диффузионный оптический датчик BF3R	1 шт.
7.2	Магнитные концевые выключатели	2 шт.
7.3	Цилиндр двухстороннего действия	1 шт.
7.4	Пневмораспределитель с электроуправлением SY3120-5LOU-C4-Q	2 шт.
7.5	Пневмораспределитель с электроуправлением SY3220-5LOU-C4-Q	1 шт.
8	Вспомогательные устройства и принадлежности	1 шт.
8.1	Электрическая кнопка	1 шт.
8.2	Электрический переключатель	1 шт.
8.3	Индикаторная лампа	1 шт.
9	Пульт ручного управления модулем	1 шт.
10	Лабораторный и компьютерный столы	1 шт.
11	Ноутбук с предустановленным программным обеспечением	1 шт.
12	Компрессор PACIFIC-24	1 шт.
13	Техническое описание стенда	1 шт.
14	Методические указания	1 шт.

1.3 Технические характеристики стенда

Общие технические характеристики лабораторного стенда представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики стенда

Параметр	Значение
Напряжение электропитания	220 В
Частота питающего напряжения	50 Гц
Потребляемая мощность, не более	1000 В·А
Габаритные размеры (ШхВхГ)	1850х1100х650 мм
Масса	80 кг
Диапазон рабочих температур	+10…+35 ˚С
Относительная влажность воздуха, не более	80%

2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

2.1 Работа №1. Изучение программируемого логического реле.

Цель работы

Ознакомиться с устройством и техническими характеристиками логического модуля LOGO!, приобрести навыки программирования с применением программного обеспечения LOGO! Soft Comfort, изучить основные функции и операции.

Содержание работы

Дома, при подготовке к работе:

– Изучить назначение, технические характеристики логического модуля LOGO!, основные узлы и возможности лабораторного стенда;

– Изучить систему команд и принципы программирования LOGO!;

– Выполнить синтез системы автоматизации согласно выданного варианта задачи;

– Составить программу для ввода в контроллер;

– Ответить на контрольные вопросы.

В лаборатории:

– Закрепить полученные при подготовке к лабораторной работе знания на практике;

– Освоить графическую среду программного обеспечения LOGO!Soft Comfort (при наличии в лаборатории ПК);

– Сконфигурировать необходимое оборудование в LOGO! Soft Comfort;

– Набрать с панели модуля или на компьютере подготовленную программу, откомпилировать ее и ввести логический модуль LOGO! в работу. Убедиться в правильности работы программы.

Общие сведения

При проведении данной лабораторной используется модуль «Логический модуль LOGO!»

Серия LOGO! объединяет в своем составе логические модули, модули ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов, коммуникационные модули, модули

бесшумной коммутации трехфазных цепей переменного тока, блоки питания, аксессуары, а также программное обеспечение.

Области применения логических модулей LOGO!:

• Управление технологическим оборудованием (насосами, вентиляторами, компрессорами, прессами);

• Системы отопления и вентиляции;

• Управление наружным и внутренним освещением, освещением витрин;

• Управление коммутационной аппаратурой (АВР, АПВ и т.д.);

• Конвейерные системы;

• Системы управления дорожным движением;

• Управление подъемниками и т.д.

Стоимостные показатели этих модулей настолько низки, что их применение может оказаться экономически целесообразным даже в случае замены схем, включающих в свой состав 2 многофункциональных реле времени или 2 таймера и 3-4 промежуточных реле.

Программирование модуля LOGO!Basic, используемого в лабораторном стенде, может производиться как со встроенной клавиатуры, так и с помощью программного обеспечения LOGO!Soft Comfort.

В лабораторном стенде используется логический модуль LOGO! 12/24 RCE 0BA7 с дополнительным модулем ввода-вывода дискретных сигналов LOGO! DM8 24R. Внешний вид представлен на рисунке 2. В соответствующих таблицах представлено описание элементов логического модуля и его технические характеристики (таблицы 2 и 3).

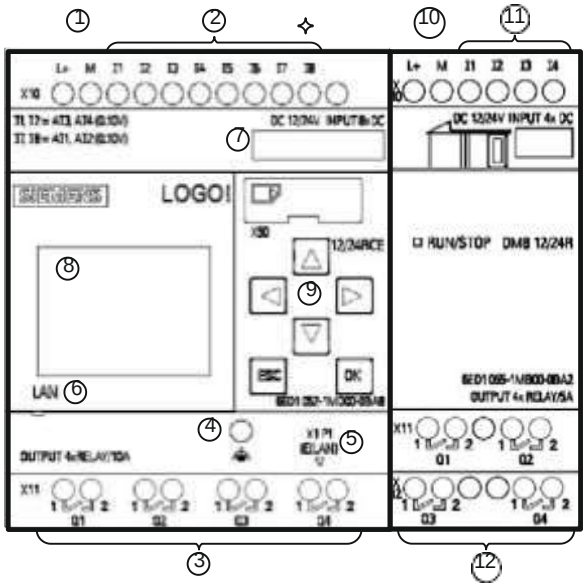


Рисунок 2 – Внешний вид логического модуля *LOGO!12/24 RCE и LOGO!DM8 24R*

Таблица 3 – Описание элементов логического модуля

№ п/п	Элемент		Функция
1	Клеммы питания		Подключение питания логического модуля
2	Входные клеммы		Подключение входных цепей контроллера
3	Выходные клеммы		Подключение выходных цепей контроллера
4	FE-терминал		Подключение шины защитного заземления
5	Порт Ethernet (RJ45)		Для подключения к сети Ethernet (10/100 Мбит/с)
6	Светодиоды статуса Ethernet	Rx/Tx	Светодиод мигает оранжевым светом. LOGO! получает/передает данные по сети Ethernet.
		LINK	Светодиод постоянно горит зеленым светом LOGO! подключен к сети Ethernet.
7	Слот для SD-карты памяти с крышкой		Установка SD-карты памяти
8	ЖК-дисплей		Отображение различной информации
9	Панель управления		Осуществляется работа с ЖК-дисплеем Клавиша «Вправо» Клавиша «Вверх» Клавиша «Влево» Клавиша «Вниз» Клавиша «OK» Клавиша «ESC»
10	Клеммы питания дополнительного модуля		Подключение питания дополнительного модуля ввода-вывода дискретных сигналов
11	Входные сигналы дополнительного модуля		Подключение входных цепей дополнительного модуля
12	Выходные клеммы дополнительного модуля		Подключение выходных цепей дополнительного модуля

Таблица 4 – технические характеристики логического модуля

Параметр	Значение	Значение
Модель	LOGO!12/24 RCE 0BA8	LOGO! DM8 12/24R
Размеры, ШхВхГ	107x90x53 мм	36x90x53 мм
Рассеиваемая мощность	2,4 Вт	1,1 Вт
Напряжение питания	от 20,4 до 28,8 В постоянного тока	от 20,4 до 28,8 В постоянного тока
Потребляемый ток	75 мА	35 мА
Встроенные цифровые входы/выходы	8 входов (транзисторных) / 4 выходов (релейных)	4 входов (транзисторных) / 4 выходов (релейных)
Встроенные аналоговые входы/выходы	4 входа (I1, I2, I7, I8)	0,1 мс/функция
Скорость выполнения операций	0,1 мс/функция	
Коммуникационные соединения	Ethernet, 10/100 Мбит/с	

Ниже представлены схемы подключения входных (рисунок 3а) и выходных (рисунок 3б) цепей логического модуля *LOGO!12/24 RCE*.

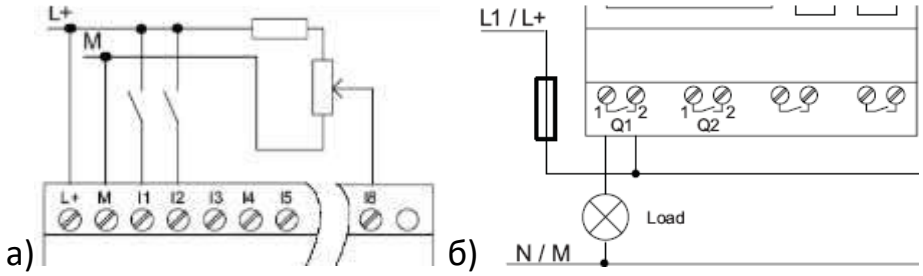


Рисунок 3 – Схемы подключения входных (а) и выходных (б) цепей логического модуля *LOGO!12/24 RCE*

Технические характеристики входных и выходных цепей логического модуля *LOGO!* представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики входных и выходных цепей

Параметр	Значение	Значение
Цифровые входы		
Количество	8	4
Потенциальная развязка	нет	нет
Количество быстродействующих входов	4(I3-I6)	0
Частота включения входов (обычный / быстродействующий)	4 Гц / 5 кГц	4 Гц
Логическая 1	Минимум 8,5 В постоянного тока при токе не менее 2 мА (I3-I6) и 0,15 мА (I1,I2, I7,I8)	Минимум 8,5 В постоянного тока при токе не менее 2 мА
Логический 0	Максимум 5 В постоянного тока при токе не более 0,85 мА (I3-I6) и 0,05 мА (I1,I2, I7,I8)	Максимум 5 В постоянного тока при токе не более 0,85 мА
Время переключения из 0 в 1 / из 1 в 0	Типовое – 1-1,5 мс (I3-I6)	Типовое – 1-1,5 мс
Аналоговые входы		
Количество	4(I1-AI3, I2-AI4, I7-AI1, I8-AI2)	
Диапазон измерения	0-10 В постоянного тока	
Время цикла преобразования	300 мс	
Предел погрешности	± 1.5% от д апазо а измерения н и	

Продолжение таблицы 5 – Технические характеристики входных и выходных цепей

Параметр		Значение	Значение
Цифровые выходы			
Количество		4	4
Тип		реле	реле
Электрическая изоляция		есть	есть
Длительный ток нагрузки		до 5 А на реле	до 5 А на реле
Импульсный ток		до 30 А	до 30 А
Допустимая нагрузка (25000 циклов переключения)	Лампы накаливания	1000 Вт	1000 Вт
	Люминесцентные лампы с балластным сопротивлением / с компенсацией / без компенсации	10 58 т / 1 58 т / x 10x58 Вт (230/240 В переменного тока)	10x58 Вт / 1x58 Вт / 10x58 Вт (230/240 В переменного тока)
Частота переключения механическая/омическая нагрузка/индуктивная нагрузка		10 / 2 / 0,5 Гц	10 / 2 / 0,5 Гц

В следующих таблицах представлены функциональные возможности для создания управляющей программы для логического модуля и доступные режимы работы логических модулей представлены в таблицах 6 и 7.

Таблица 6 – Функциональные возможности для создания управляющей программы

Параметр	Количество	
Дискретные входы	24 (I1–I24)	
Аналоговые входы	8 (AI1–AI8)	
Дискретные выходы	16 (Q1–Q16)	
Аналоговые выходы	2 (AQ1–AQ2)	
Блоки дискретных флагов	(M1–M27)	M8 – флаг запуска
		M25 – флаг подсветки: Встроенный дисплей LOGO!
		M26 – флаг подсветки: LOGO! TD
		M27 – флаг набора символов текста сообщений
Блоки аналоговых флагов	16 (AM1–AM16)	
Сдвиговый регистр	32 бита (S1.1–S4.8)	
Клавиши управления курсором	4	
Неподключенные выходы	64 (X1–X64)	
Сетевые дискретные входы/выходы	64 входа (NI1–NI64) / 64 выхода (NQ1–NQ64)	
Сетевые аналоговые входы/выходы	32 входа (NAI1–NAI32) / 16 выходов (NAQ1–NAQ16)	

Таблица 7 – Доступные режимы работы логического модуля

STOP	RUN
• На дисплее отображается: «Нет прогр.» • Переключение модуля LOGO! в режим программирования	• Дисплей: экранная маска для контроля I/O и сообщений или для меню ввода параметров • Переключение модуля LOGO! в режим ввода параметров
Действия модуля LOGO!: • Входные данные не считываются. • Коммутационная программа не выполняется. • Релейные контакты постоянно разомкнуты: полупроводниковые выходы отключены.	Действия модуля LOGO!: • Модуль LOGO! считывает состояние входов. • Модуль LOGO! использует коммутационную программу для вычисления состояний выходов. • Модуль LOGO! коммутирует релейные и полупроводниковые выходы.

Конфигурирование и программирование логического модуля LOGO!

Для начала работы с логическим модулем LOGO! необходимо его сконфигурировать, то есть задать основные настройки для обеспечения подключения по сети Ethernet и использования дополнительных функций модуля. Конфигурирование производится в следующей последовательности:

Включить логический модуль LOGO!;

В том случае если LOGO! находится в рабочем режиме RUN, необходимо перевести его в режим программирования Program (рисунок 4). Для этого с помощью кнопок ▼ и ▲ курсора на экране LOGO! выбрать строку Stop, нажать кнопку ОК, выбрать строку Yes и снова нажать кнопку ОК;

С помощью кнопок курсора ▼ и ▲ перейти к строке Network, нажать ОК. На новом экране выбрать строку IP address, нажать ОК;

В открывшемся окне представлен текущий IP-адрес логического модуля. По умолчанию заданы IP-адрес – 192.168.0.132, маска сети – 255.255.255.0. При необходимости можно изменить адрес. Для этого необходимо нажать ОК. Появится мигающий курсор. С помощью кнопок курсора ◄ и ►можно выбрать нужное место для редактирования, а с помощью ▼ и ▲ задать нужное значение. После завершения редактирования IP-адреса необходимо нажать еще раз ОК, мигающий курсор исчезнет. Также можно проверить маску сети, для этого необходимо нажать клавишу ▼. Для выхода необходимо нажать ESC ;

Перейти к строке Set Mode. Зайти в это меню. Установить режим «Normal». Выйти из этого окна.

Перейти в стартовое окно, в котором необходимо выбрать строку BM AI NUM (Задание количества аналоговых входов). Нажать ОК. В появившемся окне выбрать 2AI (два аналоговых входа). Нажать ОК. На этом конфигурирование логического

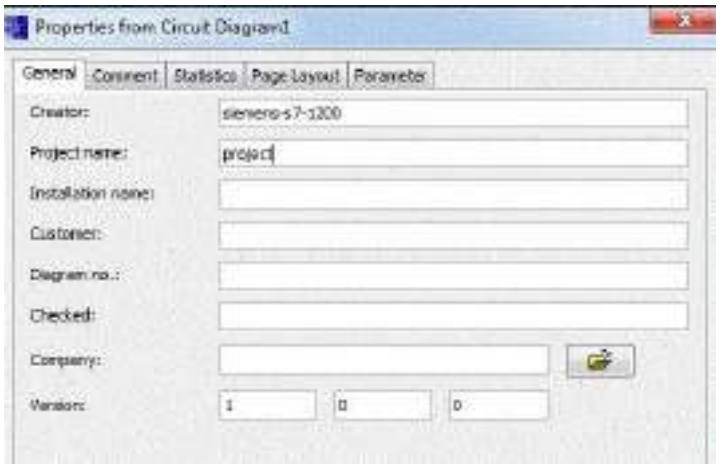
модуля LOGO! закончено, можно переходить к составлению программы и записи ее в память LOGO!



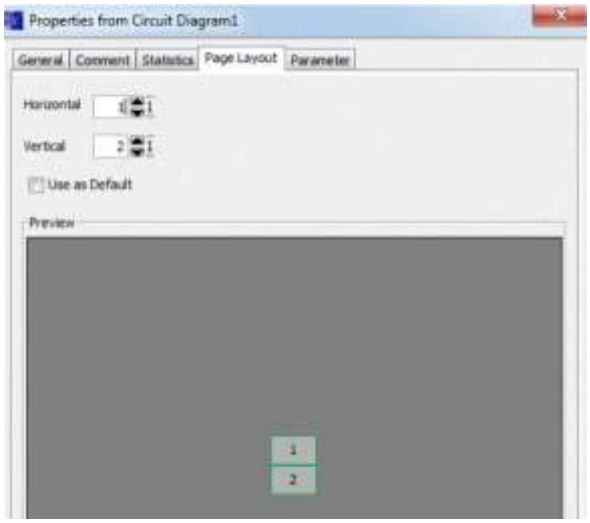
Рисунок 4 – Последовательность задания IP-адреса

Для подготовки программ при проведении лабораторных работ служит программное обеспечение LOGO!Soft Comfort. Для запуска программы необходимо на рабочем столе Windows дважды щелкнуть курсором мыши по соответствующему ярлыку. После чего откроется пустое окно программы, в котором можно создать новый проект или открыть уже созданный проект. Для этого необходимо в выпадающем меню «File» выбрать пункт New. Откроется мастер проекта, в котором в закладке «General» необходимо указать название нового проекта, в закладке «Page Layout» – размер рабочей области и в закладке «Parameter» – отображаемую информацию на экране LOGO! и количество используемых аналоговых входов (рисунок 5). После этого нажать ОК и окно программы примет следующий вид (рисунок 6).

а)



б)



в)



Рисунок 5 – Закладки диалогового окна нового проекта

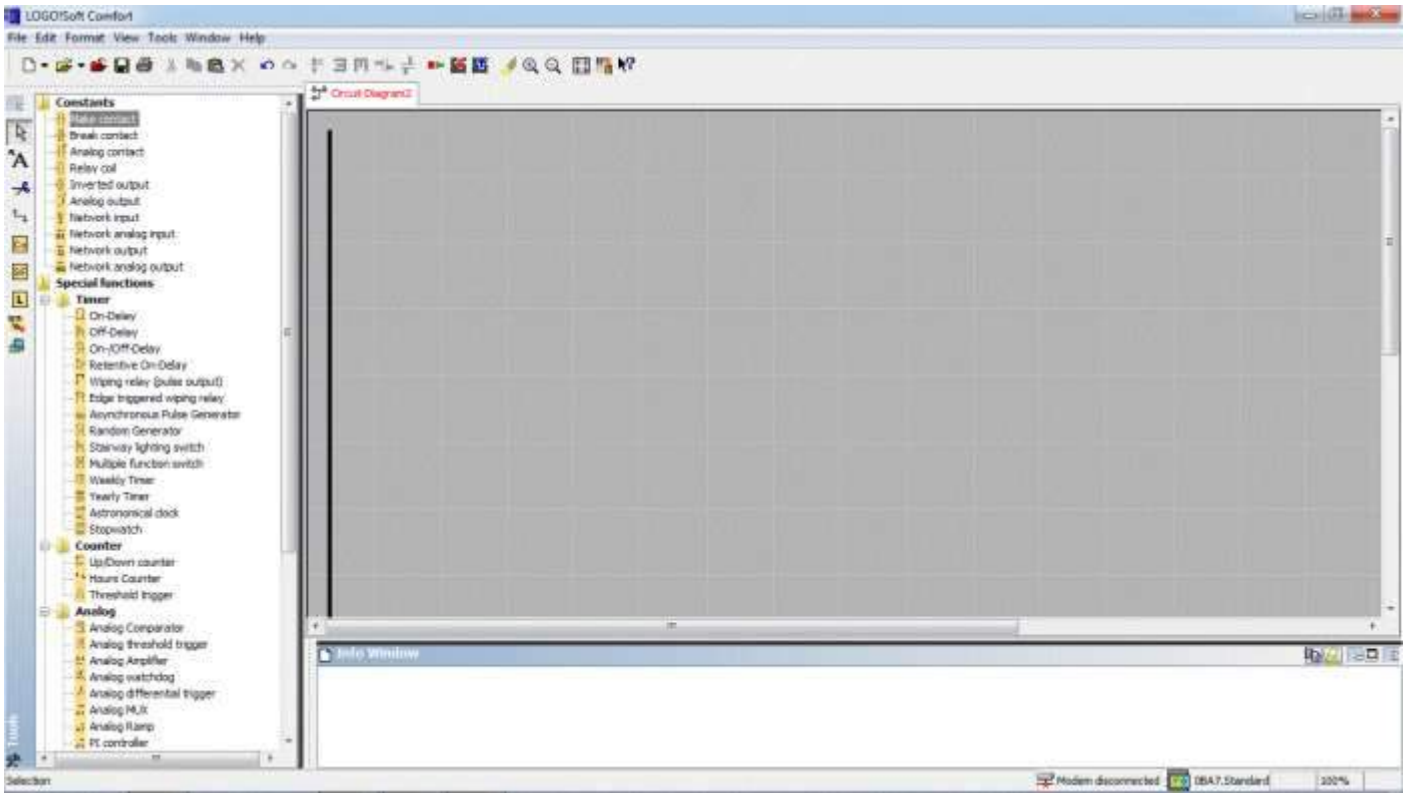


Рисунок 6 – Окно программы LOGO!Soft Comfort

Далее необходимо сконфигурировать сетевые параметры логического модуля. Для этого нужно выбрать в выпадающем меню «Tools» пункт Transfer → Configure Network Address. В открывшемся окне (рисунок 7) необходимо указать IP-адрес и маску сети логического модуля, которые обязательно должен совпадать с тем адресом, который установлен непосредственно в LOGO! После этого необходимо нажать «ОК» и при необходимости еще раз «ОК».

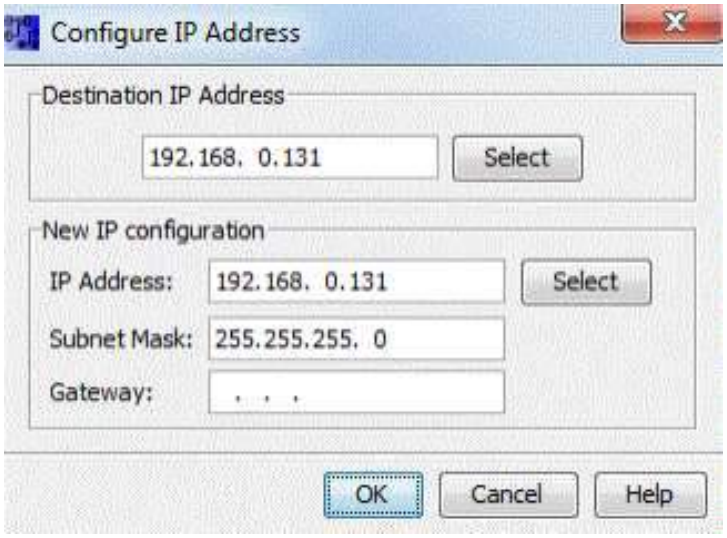


Рисунок 7 – Конфигурация IP-адреса

Всю рабочую область программы можно условно разделить на две части:

Правая – главное окно проекта, в котором ведется программирование и лог загрузки;

Левая – содержащая панель инструментов для программирования и непосредственно всевозможные инструкции, с помощью которых и реализуется программа.

Программирование логического модуля осуществляется на одном из двух языков программирования: LAD и FBD. Язык LAD (язык лестничных диаграмм) удобен для инженеров-электриков, а язык FBD (язык функциональных блоков) ориентирован на инженеров-схемотехников. Переключение между языками происходит следующим путем: в выпадающем меню «File» необходимо выбрать пункт Convert to FBD или Convert to LAD, в зависимости от того, какой язык был выбран первоначально. После этого откроется еще одна закладка, в которой будет находиться проект, преобразованный в нужный язык.

Ниже рассматривается пример программирования на языке LAD.

При программировании лестничными диаграммами (LAD) в виде релейно-контактной схемы программа разделяется на сегменты. Каждый сегмент представляет собой отдельную цепь, по которой может протекать ток. Шина питания находится слева (вертикальная линия).

Рассмотрим ввод программы для реализации простого уравнения:

$$Q1 = \left(I1 \cdot \overline{I3}\right) + I2$$

1. Установить в токовую цепь (сегмент) реле (катушку) (рисунок 8). Для этого нажать на кнопку Relay Coil [Катушка] в окне инструкций и на рабочем поле в желаемом месте кликнуть левой клавишей мыши. Выходу автоматически будет присвоен адрес. В программе один выход может быть использован только один раз.

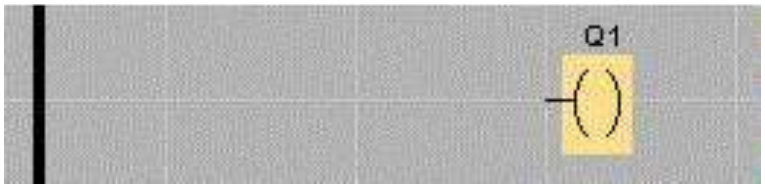


Рисунок 8 – Вид реле (катушки)

2. В окне инструкций выбрать замыкающий контакт «Make contact». Щёлкнуть по тому месту (непосредственно по линии), куда нужно его установить. Автоматически откроется окно свойств (рисунок 9). в нем необходимо выбрать номер контакта и нажать ОК. Аналогично выполнить установку всех остальных контактов. После чего программа примет вид, представленный на рисунке 10.

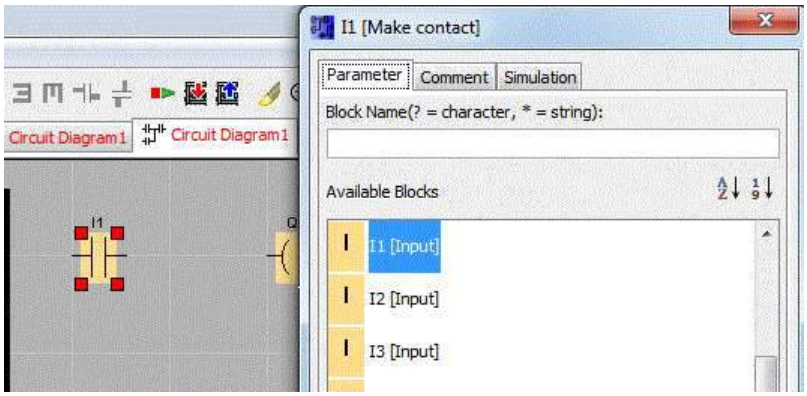


Рисунок 9 – Окно свойств создания контакта

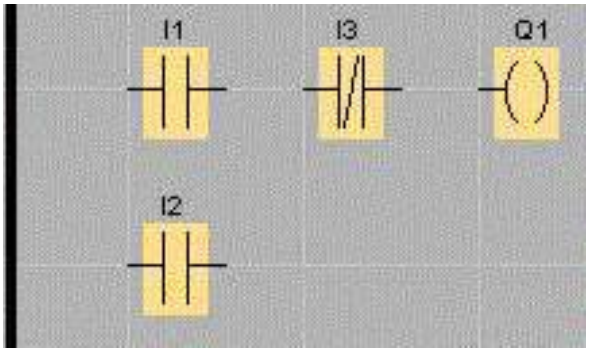


Рисунок 10 – Вид программы

3. Далее в панели инструментов программирования выбрать – Connect [Соединить] и указателем мыши соединить контакты в нужной последовательности (рисунок 11). Программа создана.

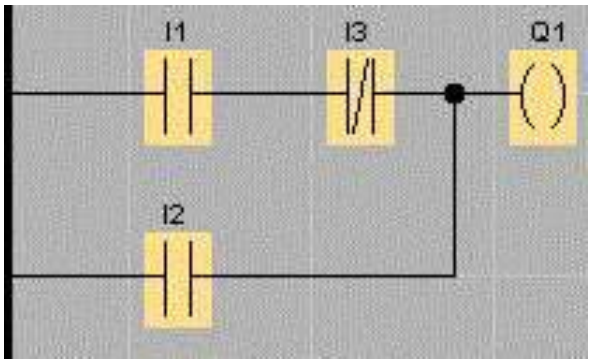


Рисунок 11 – Вид программы после соединения

Для удаления какого-либо элемента программы необходимо его выделить и выбрать: Edit→Delete. Для отмены предыдущего действия необходимо выбрать: Edit→Undo.

Для редактирования какого-либо дискретного элемента программы необходимо дважды щелкнуть по нему левой клавишей мыши и в открывшемся окне произвести требуемые изменения.

Далее рассматривается вставка функции на примере создания следующей программы: если кратковременно включить вход I0, то включится выход Q1, если кратковременно включить вход I1, выход Q1 выключится. Для этого воспользуемся функцией RS триггера:

В панели инструментов программирования выбрать – Special Functions [Специальные функции]. Откроется панель функций (рисунок 12), на которой

необходимо выбрать обозначение RS. После чего поместить инструкцию, на поле, кликнув в нужном месте левой клавишей мыши.

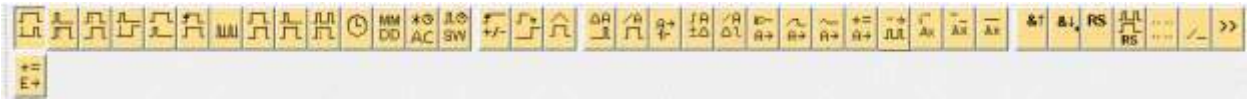


Рисунок 12 – Панель функций

На верхнюю входную линию (вход S) инструкции поставьте нормально открытый контакт I1, а на место нижнего входа (вход R) – I2 (рисунок 13). Для вывода состояния триггера на выходное реле необходимо создать контакт SF001. При этом, так же как и с физическими входами, необходимо выбрать «Make contact», установить в нужном месте программы и в выпадающем меню выбрать требуемый контакт SF001. После этого подключить его на выход Q1.

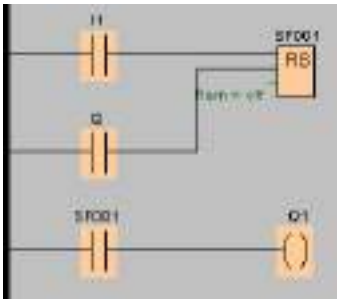


Рисунок 13 – Использование RS-триггера

В логическом модуле LOGO! реализуется до 14 разновидностей таймеров. В лестничных диаграммах таймерные блоки различаются изображением пиктограммы и количеством входов.

Ниже, на рисунках 14 – 17 приведены для каждого типа таймера варианты программирования и временные диаграммы их работы, из которых без дополнительных комментариев ясны особенности их работы.

Блок таймера имеет следующие входы и выходы: IN – вход запуска, Par– уставка (заданное время), R – вход сброса, Q – выход (состояние таймера).

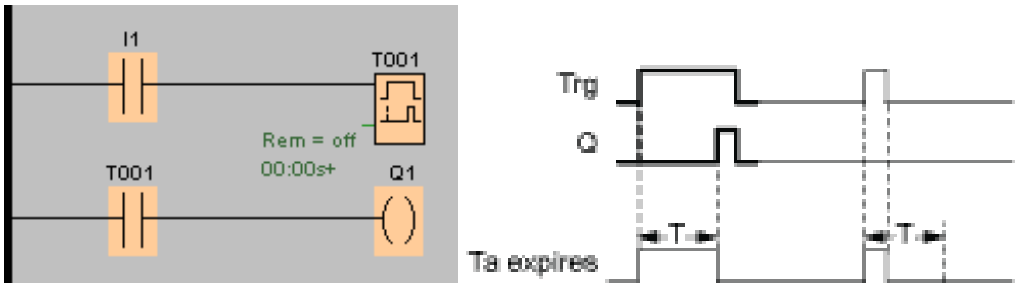


Рисунок 14 – Таймер – формирователь задержки на включение

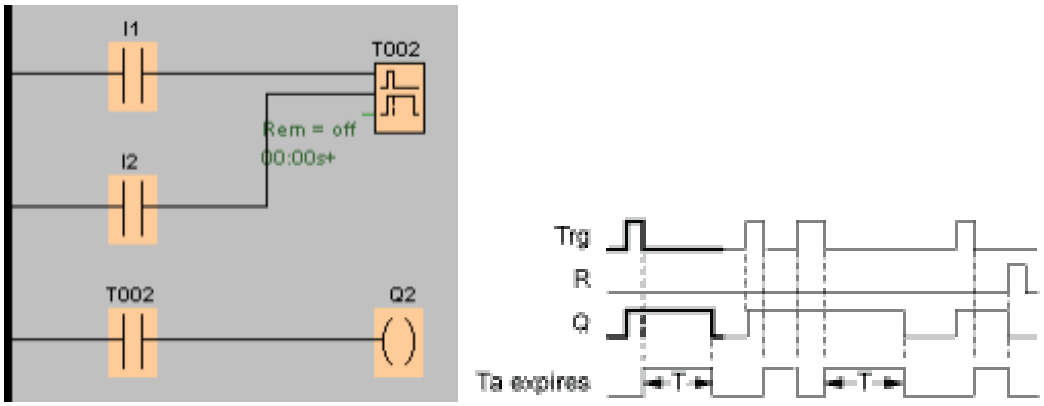


Рисунок 15 – Таймер – формирователь задержки на выключение

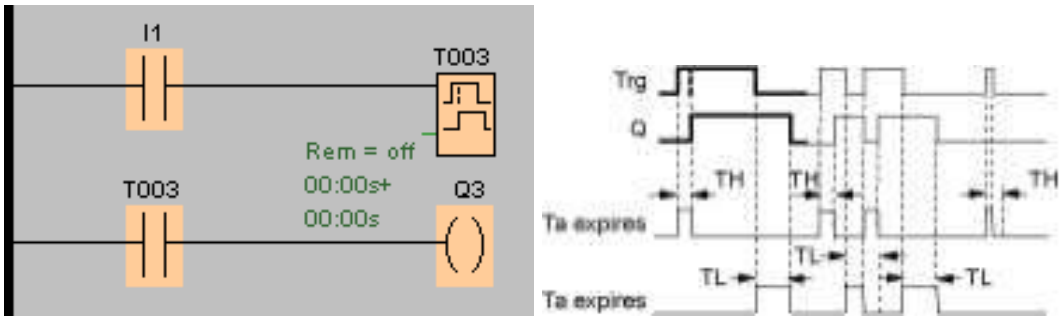


Рисунок 16 – Таймер – формирователь задержек на включение и выключение

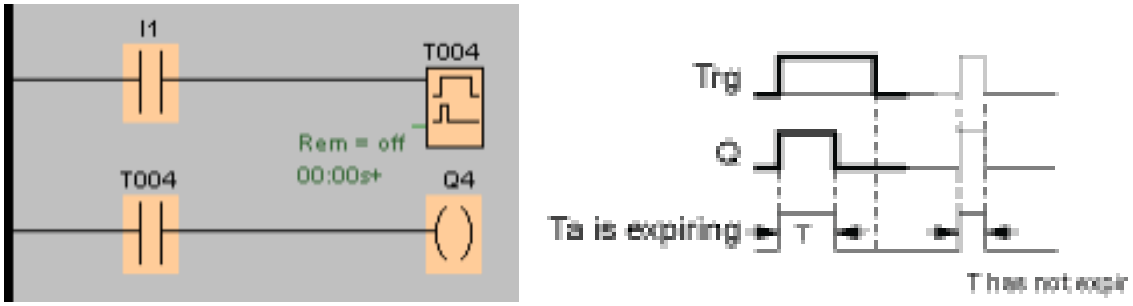


Рисунок 17 – Таймер – формирователь импульса

Настройка таймера происходит через диалоговое окно (рисунок 18). В нем можно указать имя таймера и назначить ему уставку времени, которая может быть в трех форматах: h:m (часы:минуты), m:s (минуты:секунды) и s:ms (секунды:миллисекунды).

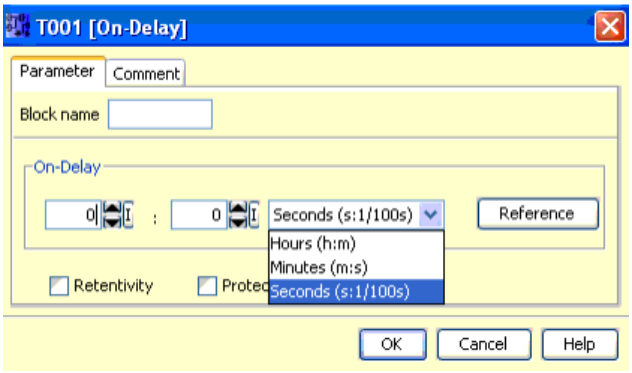


Рисунок 18 – Окно настроек таймера

В логическом модуле LOGO! реализуется 3 разновидности счетчиков. В лестничных диаграммах блоки счетчиков различаются изображением пиктограммы и количеством входов.

В контроллере реализовано 3 вида счетчиков:

– Реверсивный (прямой/обратный счет);

– Счетчик часов;

– Высокоскоростной счетчик.

На рисунке 19 представлены блоки и временные диаграммы, описывающие работу всех трех счетчиков.

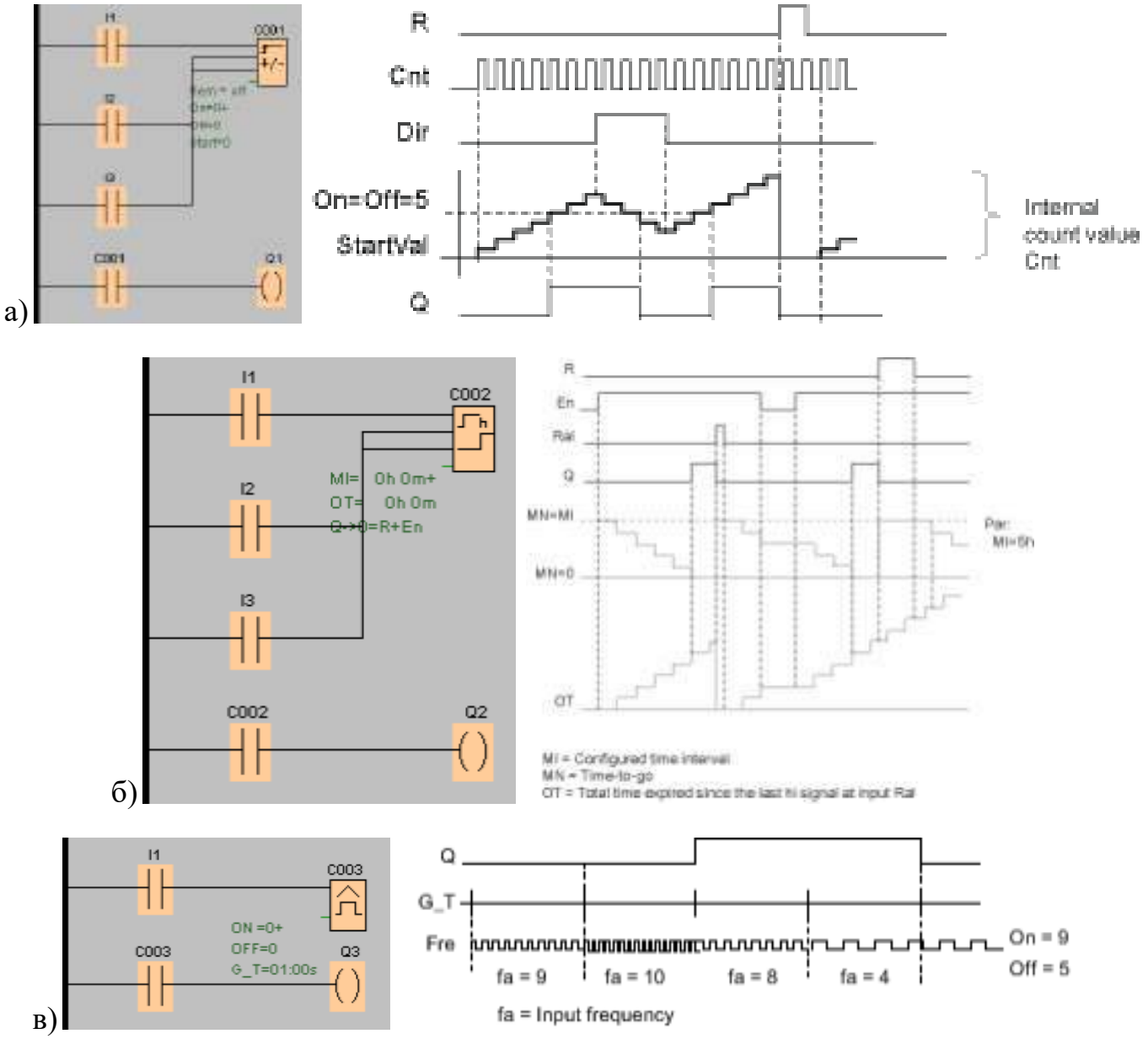


Рисунок 19 – Счетчики: а) реверсивный, б) счетчик часов, в) высокоскоростной

На временных диаграммах (рисунок 19) указаны следующие обозначения: CNt – счетный вход, Dir – направление счета, En – вход на разрешение счета, Fre – импульсный вход, R – вход сброса, Q – выход (состояние) счетчика.

Настройка счетчика происходит через диалоговое окно (рисунок 20). В нем можно указать имя счетчика и в зависимости от типа счетчика назначить уставки.

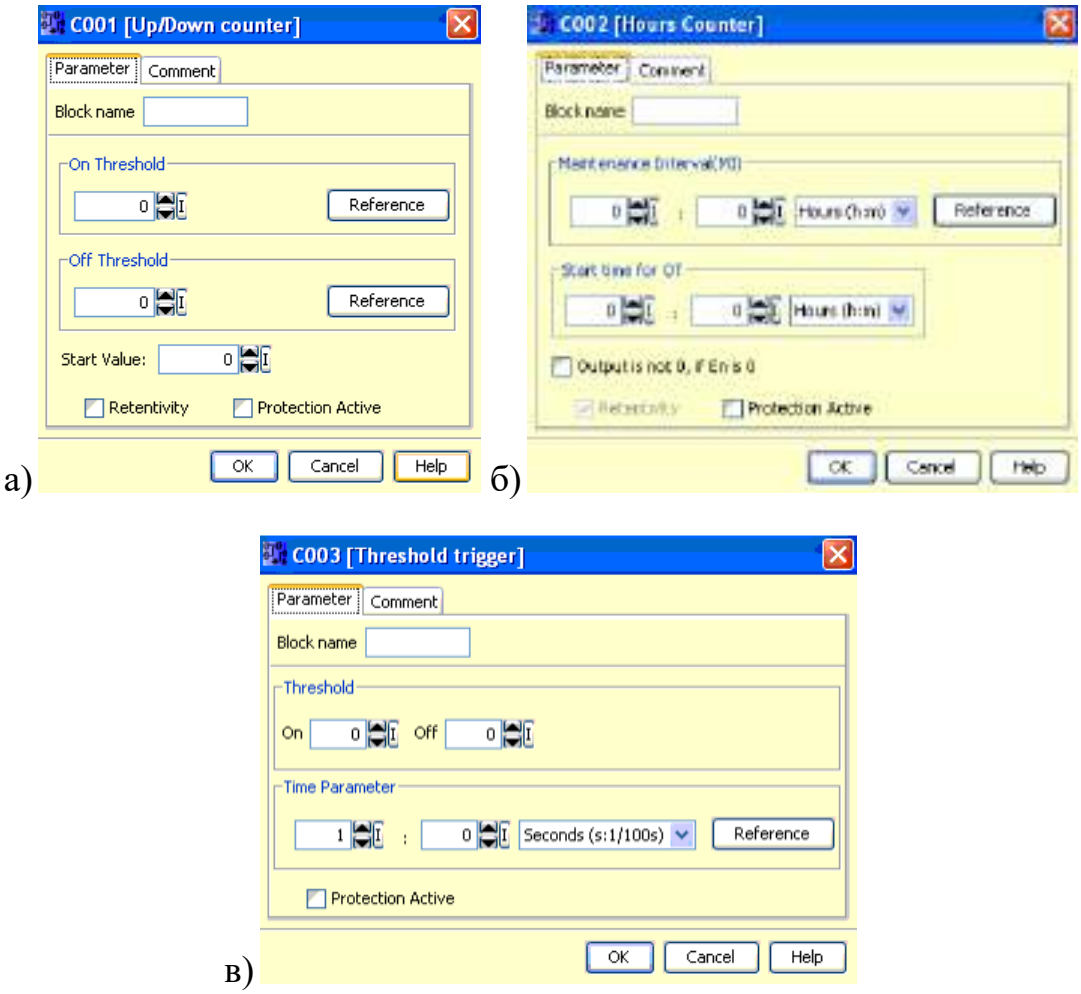


Рисунок 20 – Окна настроек счетчиков:
а – реверсивного, б – счетчика часов, в - высокоскоростного

Исследуемый логический модуль LOGO! имеет два встроенных аналоговых входа, характеристики которых можно увидеть в соответствующем разделе данного методического пособия.

При выполнении лабораторной работы требуется изучить работу аналогового компаратора, который сравнивает два налоговых сигнала, поступающие с входов логического модуля. Вход AI1 подключен непосредственно к потенциометру, расположенному на лицевой панели модуля. Вход AI2 необходимо подключить к потенциометру, расположенному на лицевой панели модуля ПЛК. В память логического модуля необходимо ввести следующую программу (рисунок 21)

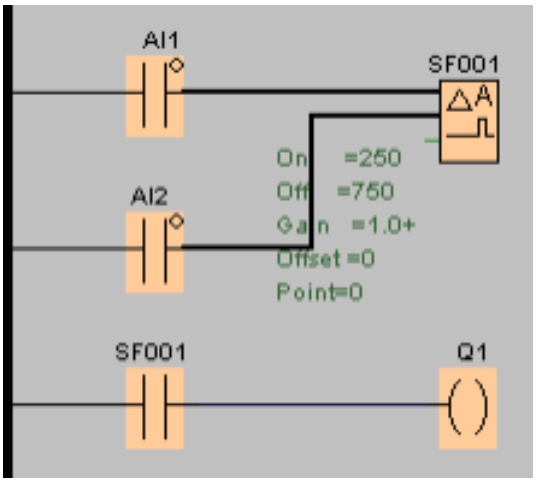


Рисунок 21 – Программа для изучения работы
аналоговых входов и компаратора логического модуля

Для этого в окне инструкций необходимо выбрать «Analog contact»и на рабочем поле установить в требуемое место, задав при этом адреса входов AI1 и AI2 соответственно. Далее в окне инструкций нужно выбрать блок «Analog Comparator», и также установить его в требуемое место. Дважды щелкнуть левой клавишей мыши по блоку. В открывшемся окне свойств компаратора (рисунок 22) в полях «Threshold On» и «Threshold Off» установить пороги включения и отключения соответственно.

Контакты AI1 и AI2 считывают значения на аналоговых входах 1 и 2 соответственно. Инструкция SF001 (аналоговый компаратор) производит сравнение двух значений и по порогам срабатывания производит включение или выключение релейного выхода Q1.

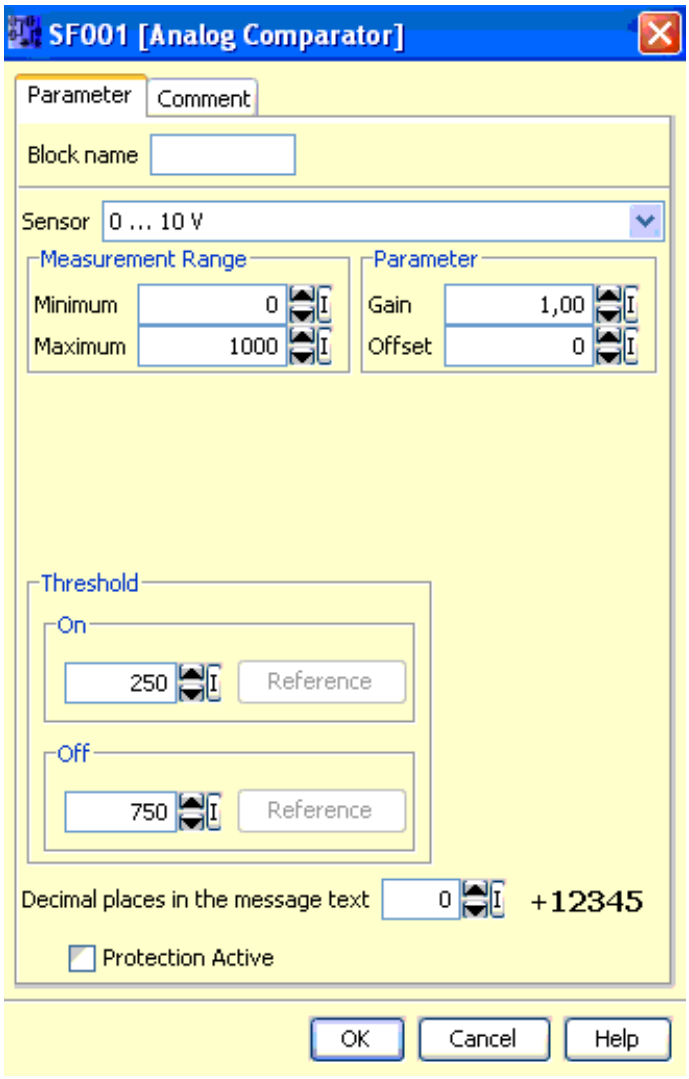


Рисунок 22 – Окно свойств аналогового компаратора

Пример программирования логического модуля LOGO!.

В качестве примера представлена программа управления движением тележки.

Тележка перемещается по прямолинейному пути. Имеется два фиксированных положения П0 и П1. Исходное положение тележки – П0.

При кратковременном нажатии на кнопку «Пуск» тележка движется вперед до положения П1, стоит в положении П1 5 с и возвращается назад в положение П0. В положении П0 немедленно возникает реверс привода тележки. Тележка вновь движется в положение П1, стоит в нем 5 с и возвращается в П0. В положении П0 вновь возникает команда на движение до положения П1и т.д. после 10 циклов перемещения в положение П1 при возвращении тележки в положение П0 возникает сигнал «Конец цикла».

Для управления движением тележки следует предусмотреть счетчик (СЧ) со счетом до 10, задержку времени (таймер) для формирования задержанного сигнала П1↑ и память РП о нажатии на кнопку «Пуск».

$$Р_{П} = (Пуск + Р_{П}) \cdot КЦ$$

Команда на перемещение тележки вперед (В) возникает в положении П0, если отсутствует сигнал счетчика СЧ, и сохраняется при наличии сигнала памяти пуска РП до достижения положения П1. Этому описанию соответствует логическое уравнение

$$В = (П0 \cdot СЧ + В) \cdot П1 \cdot Р_{П}$$

Команда на перемещение тележки назад (Н) возникает через 5 с нахождения в положении П1 и сохраняется при наличии переменной РП до достижения положения П0. Тогда логическое уравнение для команды Н имеет вид

$$Н = (П1^{\uparrow} + Н) \cdot П0 \cdot Р_{П}$$

Сигнал конца цикла (КЦ) возникает в положении П0 при наличии сигнала счетчика СЧ о завершении 10 циклов перемещения в положение П1и сигнала РП. Сигнал КЦ сохраняется до очередного нажатия на кнопку “Пуск”. Тогда логическое уравнение для рассматриваемого сигнала имеет вид

$$КЦ = (П0 \cdot СЧ \cdot Р_{П} + КЦ) \cdot Пуск$$

Сброс счетчика производится сигналом конца цикла КЦ.

В таблице 8 представлена адресация команд и сигналов для LOGO!.

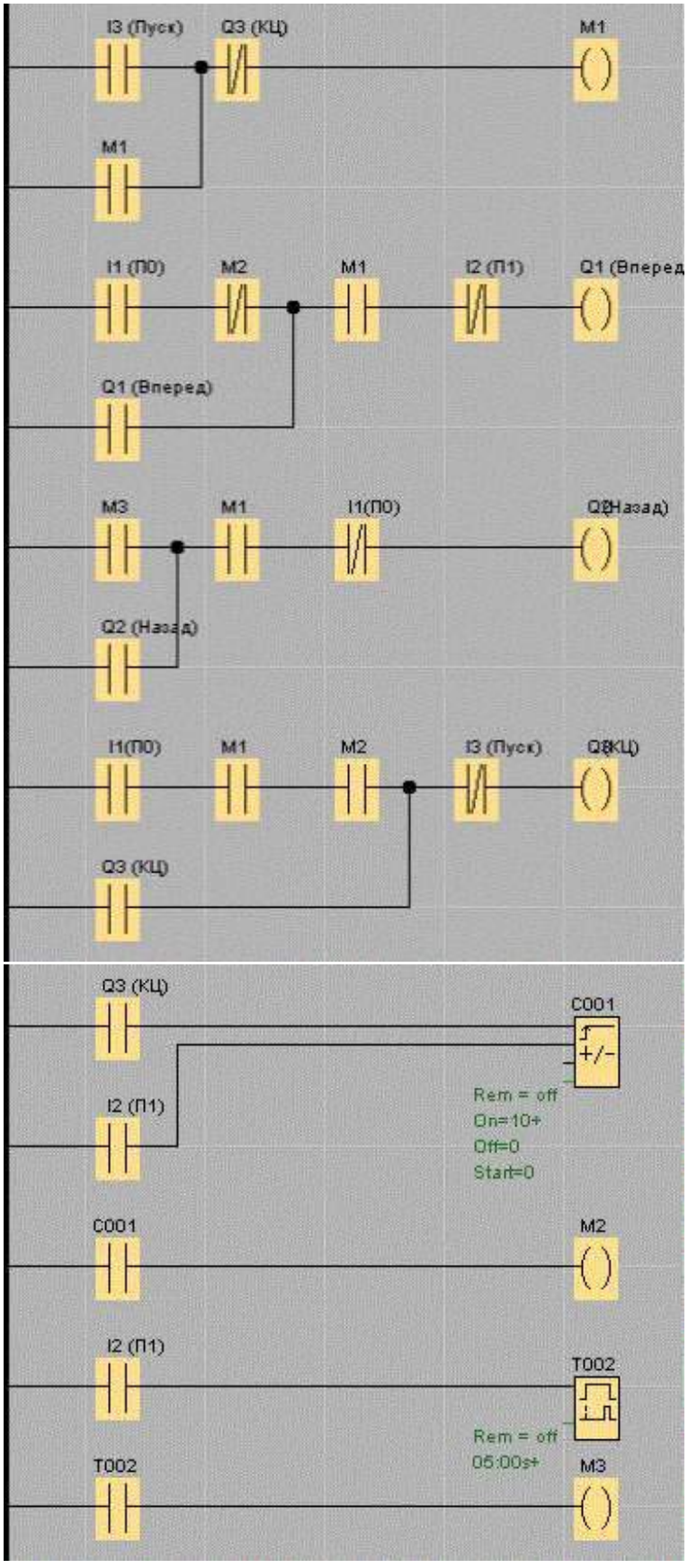


Рисунок 23 – Программа управления движением тележки

Таблица 8 – Адресация команд и сигналов для LOGO!

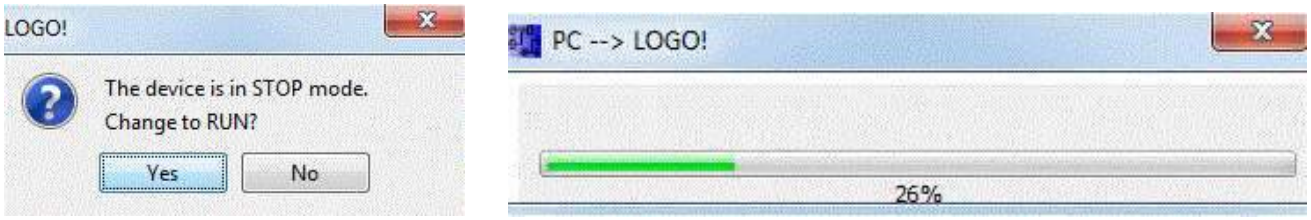
Команда, сигнал	0	1	Пуск	В	Н	КЦ	РП	СЧ	П1↑
Адрес	1	2	I3	Q1	Q2	З	М1	М2	М3
Символ	0	1	Пуск	Вперед	Назад	Ц	Память	Ч	Задержка

Загрузка программы в логический модуль LOGO! и запуск программы

Загрузка программы в логический модуль осуществляется в следующей последовательности:

в выпадающем меню «Tools» необходимо выбрать пункт Transfer → «PC→LOGO!». Появится окно задания IP-адреса (рисунок 7), если IP-адрес совпадает с тем, который установлен непосредственно в логическом модуле, нажать «ОК». После этого диалоговое окно предложит переключить LOGO! В режим STOP – выбрать ОК (рисунок 24 а). Далее начнется загрузка программы в память логического модуля. Процесс загрузки отображается с помощью шкалы процесса (рисунок 24 б).

По окончанию загрузки новое диалоговое окно предложит обратно переключить LOGO! в режим RUN, для чего необходимо нажать ОК.



а) б)

Рисунок 24 – Отображение процесса загрузки программы

Во время работы логического модуля доступен режим мониторинга хода выполнения программы. Для этого необходимо в выпадающем меню «Tools» выбрать пункт Online Test. Опять появится окно задания IP-адреса, в котором необходимо нажать ОК. После этого логический модуль перейдет в on-line режим. Для того, чтобы перейти в режим мониторинга, необходимо нажать кнопку , расположенную на функциональной панели. После этого в окне редактирования программы будут отображаться состояния контактов и катушек, а также значения счетчиков, таймеров и других функции в реальном времени (рисунок 25).

Программирование логического модуля LOGO! с кнопочной панели

Для начала работы в ручном режиме необходимо остановить программу (рисунок 25 а) нажав «Stop», если она запущенна. Затем выбрать пункт «Program…» (рисунок 25 б), после этого «Edit» (рисунок 25 в), и наконец «Edit Prg» (рисунок 25 г):

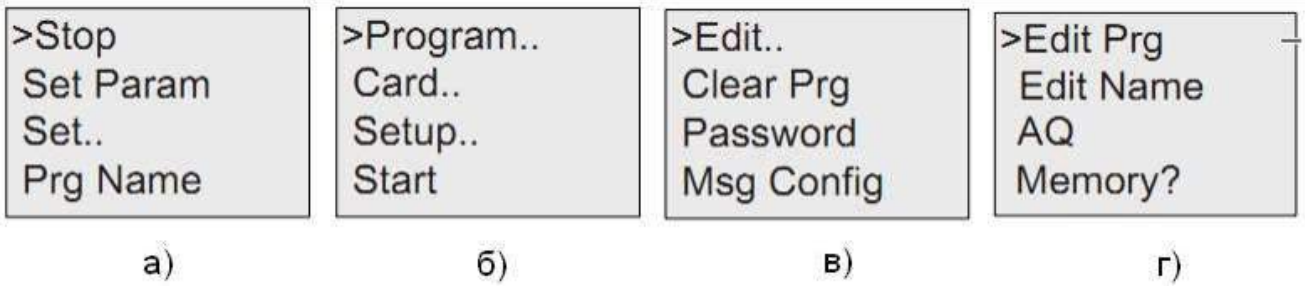


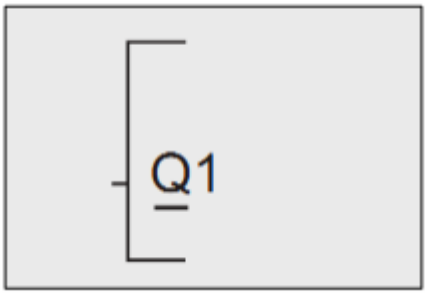
Рисунок 25 – Начало работы в ручном режиме

Рассмотрим ввод программы для реализации простого уравнения:

$$Q1=I1+I2+\overline{I3}$$

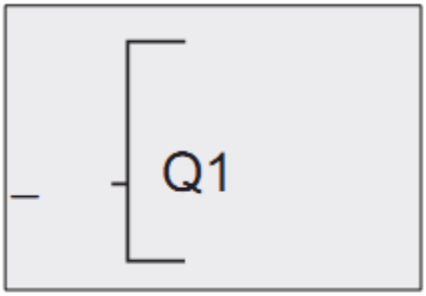
Теперь необходимо ввести коммутационную программу (от выхода к входу).

В начале работы модуль LOGO! отображает выход:

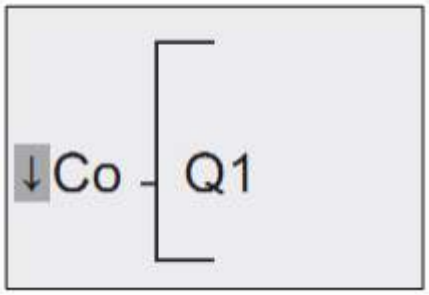


Символ подчеркивания под символом **Q** в обозначении **Q1** представляет собой курсор.

Курсор показывает текущее положение в коммутационной программе. Для перемещения курсора используются клавиши▲►▼◄. Нажмите клавишу ◄ Курсор перемещается влево.

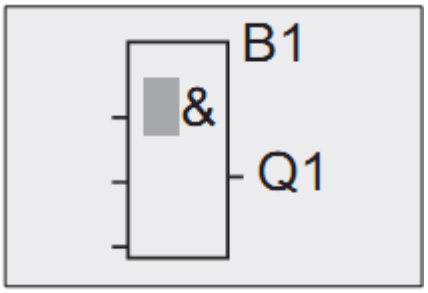


Здесь нужно ввести только первый блок (**OR**). Нажмите **OK**, чтобы перейти в режим редактирования.

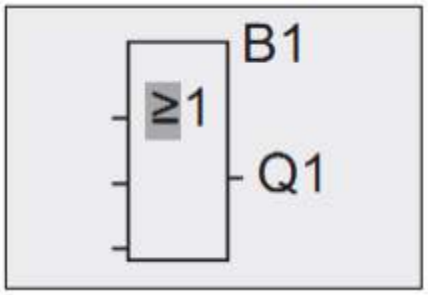


Курсор больше не отображается в виде символа подчеркивания, вместо этого он имеет вид мигающего сплошного прямоугольника. Здесь модуль LOGO! предоставляет различные возможности.

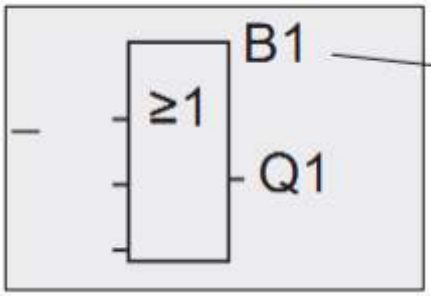
Выберите **GF** (базовые функции), нажимая клавишу ▼ до появления символа «**GF**» и подтвердите выбор нажатием **OK**. Теперь модуль LOGO! отображает первый блок из списка базовых функций:



Теперь нажимайте клавишу ▲ или ▼ до появления на дисплее блока **OR**:

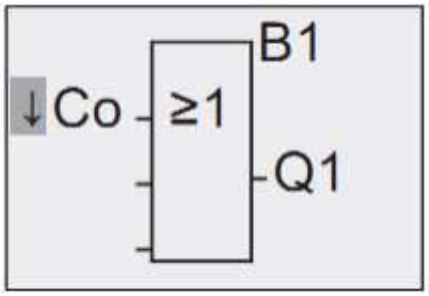


Нажмите **OK**, чтобы подтвердить выбор и завершить диалог.

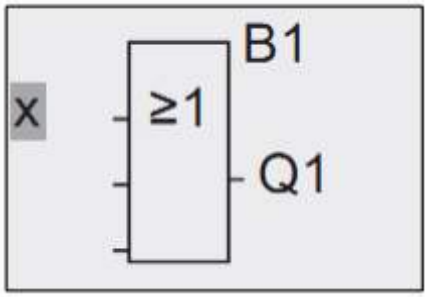


Был выполнен ввод первого блока. Каждому новому блоку автоматически назначается номер блока. Для завершения необходимо только выполнить подключения ко входам блока. Для этого выполните следующие действия:

Нажмите **OK**.



Выберите список **Co**. Нажмите **OK**



Первым элементом в списке **Co** является символ входа 1, т.е. «**I1**».

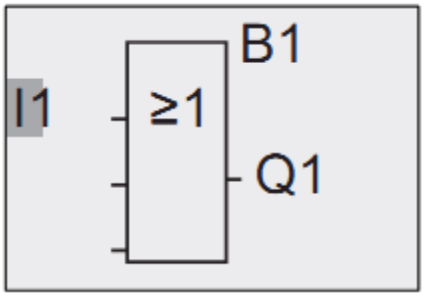
Примечание

Нажмите ▼ для перемещения к началу списка Co: I1, I2 .... lo. Нажмите ▲ для перемещения к концу списка Co: lo, hi , ... I1.

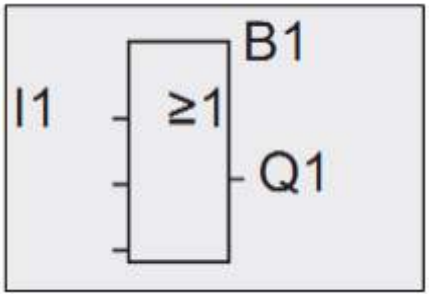
Входы F1, F2, F3 и F4 были добавлены в серии устройств 0BA6. Они соответствуют четырем функциональным клавишам дополнительного модуля LOGO! TD.

В устройствах серии 0BA7 доступно большее число битов регистра сдвига (S1.1 — S4.8), свободных коннекторов (X1 —X64) и аналоговых флагов (AM1 —AM16).

Сетевые дискретные входы (NI1 —NI64), сетевые аналоговые входы (NAI1 — NAI32), сетевые дискретные выходы (NQ1 —NQ64) и сетевые аналоговые выходы (NAQ1 —NAQ16) являются новыми коннекторами устройств серий 0BA7. Они не сконфигурированы в LOGO! 0BA7. Вы может сконфигурировать их для коммутационной программмы из LOGO!Soft Comfort V7.0, и загрузить программу в LOGO! 0BA7, для того чтобы сделать их доступными в устройстве LOGO! 0BA7.



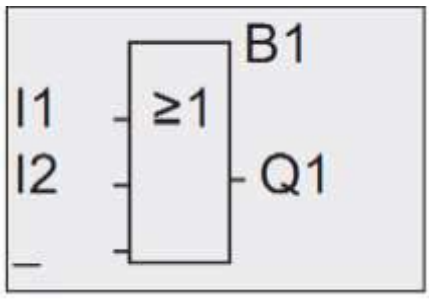
Нажмите **OK**. Теперь вход **I1** подключен к входу блока **OR**. Курсор перемещается к следующему входу блока **OR**.



Теперь необходимо подключить вход **I2** к входу блока **OR**:

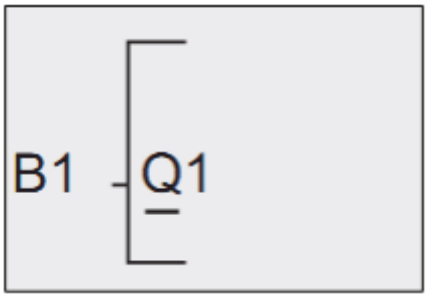
1. Перейдите в режим редактирования: Нажмите **OK**
2. Выберите список **Co**: нажимайте ▲ или ▼
3. Подтвердите список **Co**: Нажмите **OK**
4. Выберите **I2**: нажимайте ▲ или ▼
5. Примените **I2**: Нажмите **OK**

Теперь вход **I2** подключен к входу блока **OR**:



В данной коммутационной программе два последних входа блока **OR** не используются. Неиспользуемые входы можно отметить символом «**x**». Дважды введите символ «**x**»:

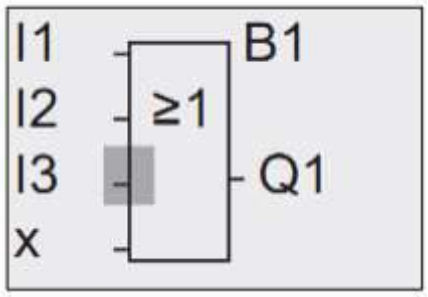
1. Перейдите в режим редактирования: Нажмите **OK**
2. Выберите список **Co**: нажимайте ▲ или ▼
3. Подтвердите список **Co**: Нажмите **OK**
4. Выберите '**x**': нажимайте ▲ или ▼
5. Примените **x**: нажмите **OK**



Примечание

Имеется возможность инвертирования отдельных входов базовых и специальных функций, т. е. если на входе присутствует сигнал логической «1», коммутационная программа будет выдавать значение логического «0». Точно так же сигнал логического «0» будет инвертироваться в сигнал логической «1».

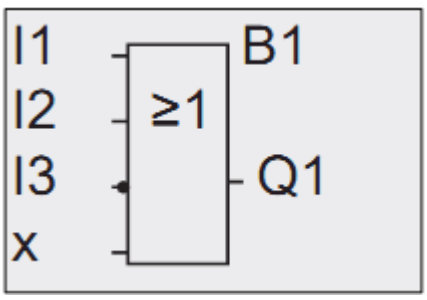
Чтобы инвертировать вход, переместите курсор в соответствующее положение, например, как показано на рисунке ниже:



Подтвердите клавишей **OK**

Теперь нажимайте ▲ или ▼, чтобы инвертировать этот вход.

После этого нажмите **ESC**



Чтобы просмотреть свою первую коммутационную программу, нажимайте клавиши ◄ или ► для перемещения курсора по программе. Теперь выйдем из режима программирования. Вернитесь в меню программирования: нажмите ESC

Программа готова.

Примечание

Модуль LOGO! сохранил коммутационную программу в энергонезависимой памяти. Коммутационная программа остается в памяти модуля LOGO! до тех пор, пока она не будет удалена пользователем. Текущие значения специальных функций могут быть сохранены при исчезновении питания, если эти функции поддерживают сохранение (параметр «Retentive») и доступна необходимая программная память. Параметр «Retentive» отключен при добавлении функции; для использования этого параметра его необходимо включить.

Далее рассмотрим редактирование созданной программы и использование специальных блоков (таймеров, счетчиков).

Переключите модуль LOGO! в режим программирования.

Напомним, как это делается:

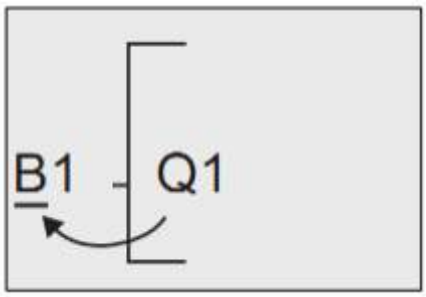
1 Переключите модуль LOGO! в режим программирования

(В режиме **RUN**: нажмите **ESC** для перехода в режим ввода параметров. Выберите команду «**Стоп**», подтвердите ввод клавишей **OK**, а затем переместите курсор «>» к пункту «**Yes**» и снова подтвердите клавишей **OK**).

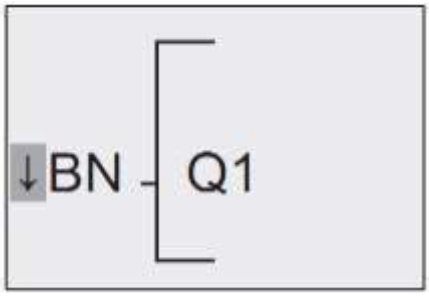
2.В главном меню выберите пункт «**Program**».

3.В меню программирования выберите пункт «**Edit**» и подтвердите клавишей **OK**. Затем выберите пункт «**Edit Prg**» и подтвердите выбор клавишей **OK**. Теперь можно изменять текущую коммутационную программу.

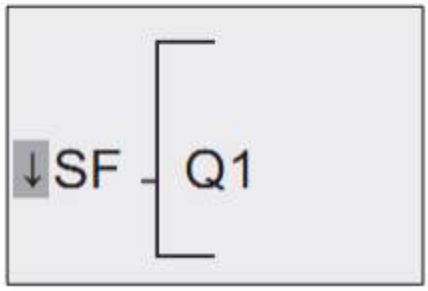
Нажмите ◄, чтобы переместить курсор на **B** в **B1** (**B1** является номером **OR** блока):



Вставьте новый блок в этой позиции. Подтвердите с помощью OK.

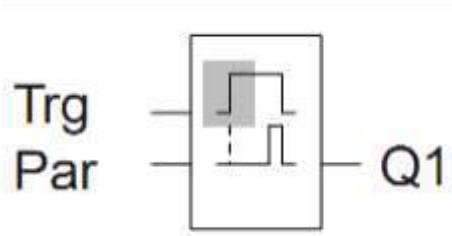


Нажмите ▼, чтобы выбрать список **SF**:

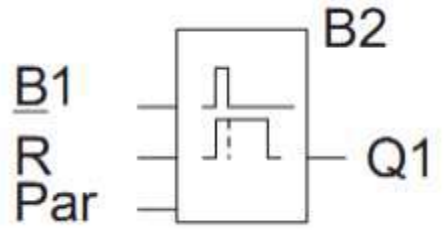


Нажмите **OK**.

Будет показан блок первой специальной функции:



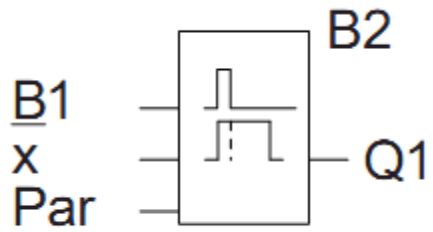
Выберите блок (задержка отключения, см. следующий рисунок) и нажмите **OK**:



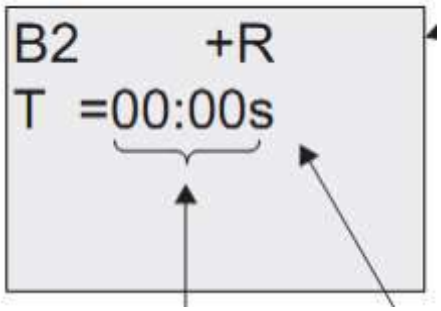
Блок **B1**, ранее подключенный к **Q1**, автоматически подключается к самому верхнему входу нового блока. Обратите внимание на то, что можно соединять дискретные входы только с дискретными выходами, а аналоговые входы — только с аналоговыми. В противном случае «старый» блок будет утрачен. Блок задержки отключения имеет три входа. Наверху расположен триггерный вход (**Trg**), используемый для запуска отсчета времени задержки отключения. В нашем примере для запуска отсчета времени задержки отключения используется блок **OR B1**.

Для сброса времени и состояния выхода нужно подать сигнал на вход сброса. Время задержки отключения задается параметром **T** на входе **Par**. В нашем примере вход сброса функции задержки отключения не используется, и он

будет обозначен коннектором «**x**».



Теперь нужно задать время задержки отключения **T**:
1.Переведите курсоср на **Par**, если курсор еще не находится в этом положении: Нажмите ▲ или ▼
2.Перейдите в режим редактирования: нажмите **OK**.
Модуль LOGO! показывает параметры в окне ввода параметров:



Чтобы изменить значение времени:
● Нажимайте ◄ и ►, чтобы установить курсор в нужную позицию.
● Нажимайте ▼ и ▲, чтобы изменить значение в соответствующей позиции.
● Подтвердите ввод клавишей OK.

Установите время **T**, равное 12:00 мин.:
1.Переместите курсор к первой цифре: нажимайте ◄ и ►
2.Выберите цифру «**1**»: нажимайте ▼ и ▲
3.Переместите курсор ко второй цифре: нажимайте ◄ и ►
4.Выберите цифру «**2**»: нажимайте ▼ и ▲
5.Переместите курсор к единицам измерения: нажимайте ◄ и ►
6.Выберите масштаб времени «m» (минуты): нажимайте ▼ и ▲

Программа готова. Теперь необходимо запустить исполнения цикла.

Запуск программы в ручном режиме

Для запуска модуля LOGO! выберите **START** в главном меню.



1.Вернитесь в главное меню: нажмите **ESC**
2.Переведите курсор '>' на "**START**": Нажмите ▼ или ▲

3.Подтвердиет "**START**": Нажмите **OK**

Модуль LOGO! запускает коммутационную программу.

Порядок проведения лабораторной работы

При выполнении лабораторной работы предполагается индивидуализация обучения по принципу «каждому студенту (бригаде студентов) свой вариант задания». Поэтому в лабораторной работе предусмотрены варианты индивидуальных заданий. По своему усмотрению преподаватель может упростить или усложнить задачу варианта в зависимости от подготовки обучаемого.

Выполнение данной лабораторной работы рассчитано на 4 академических часа работы в лаборатории и 3-4 часа самостоятельной работы при домашней подготовке и оформлении отчета по работе.

При подготовке к лабораторной работе студент должен в соответствии с таблицей 9 выбрать свой вариант задания.

Таблица 9 – Таблица вариантов

Номер бригады	1 и 5			2 и 6			3 и 7			4 и 8		
Член бригады	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2

Для заданного варианта необходимо разработать алгоритм ее решения. В соответствии с заданием определиться с адресацией входных и выходных переменных. Затем определиться с адресацией вводимых промежуточных переменных и с адресацией и параметрами используемых таймеров и счетчиков. Составить программу для логического модуля LOGO!

В лаборатории с помощью программного обеспечения LOGO!Soft Comfort набрать подготовленную программу, записать ее в LOGO! При необходимости проверить правильность работы программы на симуляторе. После чего запустить программу в работу и убедиться в правильности ее работы. При наличии ошибок в работе устранить их и продемонстрировать преподавателю работу правильно функционирующей программы.

Варианты заданий

Вариант 1.

Печь сопротивлений содержит три нагревательных элемента (НЭ), каждый из которых питается от собственного тиристорного преобразователя соответственно ТП1…ТП3. Сигнал «1» на входе ТП соответствует максимально- допустимому току НЭ, сигнал «0» – минимально-допустимому току НЭ. Синтезировать схему, обеспечивающую алгоритм работы группы ТП, представленный в таблице 10.

Таблица 10 – алгоритм работы группы ТП

Номер импульса генератора	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	…
Состояние ТП1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	…
Состояние ТП2	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	
Состояние ТП3	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	

Начало работы осуществляется после нажатия на кнопку «Пуск».

Цикл управления печью сопротивления состоит из 6 тактов. Переход с одного такта на другой осуществляется при поступлении очередного импульса от генератора импульсов. Циклы управления непрерывно следуют друг за другом.

При поступлении команды «Стоп» прекращается подача импульсов и все ТП отключаются. Для возобновления работы необходимо нажать на кнопку «Пуск». Генератор импульсов реализуется программным путем.

Вариант 2.

Манипулятор (рука со схватом) служит для подачи заготовок из накопителя в пресс. Рука манипулятора может перемещаться вперед/назад из крайнего заднего КЗ в крайнее переднее КП положение и назад, а также поворачиваться из крайнего правого положения КПр в крайнее левое положение КЛ и обратно. Схват имеет электромагнитный механизм зажима/разжима заготовок.

Исходное положение манипулятора перед накопителем (в положениях КЗ и КПр, схват под действием пружин зажат). При поступлении запроса со станка и наличии заготовки в накопителе включается электромагнит разжима схвата. Рука идет в крайнее переднее положение КП, через 2с схват зажимает заготовку (электромагнит схвата отключается) и рука возвращается в положение КЗ. Рука поворачивается в положение КЛ и выдвигается вперед до КП. Схват разжимается (электромагнит схвата включается) и через 2с рука идет в положение КЗ, затем поворачивается в положение КПР (исходное положение руки). Если есть запрос со станка, а накопитель пуст, то включается сигнальная лампа «Нет детали» и

кратковременный звуковой сигнал (в течение 5с). Световой сигнал снимается кнопкой «Сброс». Включение системы в работу – нажатием кнопки «Пуск».

Вариант 3.

Автоматизировать процесс безупорной остановки длинномерного металла на рольганге Р1. На рольганг Р1 металл передается с предыдущего рольганга Р0, наличие металла на котором контролируется датчиком Д0. Вдоль рольганга Р1 расположены датчики, контролирующие наличие металла последовательно в положениях П1, П2 и П3.

Нормальное положение рольганга Р1 – неподвижное. При наличии сигнала с датчика Д0 и отсутствии металла на рольганге Р1, рольганг Р1 включается и металл перемещается по рольгангу Р1. При достижении передним концом металла положения П1 происходит снижение скорости Р1 до «ползучей» скорости, а в положении П2 привод рольганга Р1 отключается. Если по каким-либо причинам металл достиг положения П3, то привод рольганга Р1 реверсируется и работает на пониженной скорости, пока металл не уйдет из положения П3. При остановке переднего конца металла между положениями П2 и П3 формируется сигнал разрешения работы механизмов уборки металла с Р1.

Включение системы в работу – при нажатии на кнопку «Пуск».

Вариант 4.

Автоматизировать работу толкателя с кривошипно-шатунным механизмом с нереверсивным электродвигателем. При нажатии кнопки «Пуск» кривошип из положения $\alpha = 0^0$ движется до положения $\alpha = 120^0$. В этом положении происходит переход на пониженную (малую) скорость, кривошип идет до положения $\alpha = 180^0$ и останавливается. Через 3с электродвигатель автоматически вновь включается и на повышенной скорости шатун идет в положение $\alpha = 0^0$. Стоит в нем 3с, включается и движется к положению $\alpha = 120^0$ и на пониженной скорости до $\alpha = 180^0$ и т.д. После 5 толканий толкатель останавливается в исходном положении (кривошип - в положении $\alpha = 0^0$) и формируется сигнал «Конец цикла».

Очередной цикл из пяти толканий – после очередного нажатия на кнопку «Пуск».

При нажатии на кнопку «Стоп» толкатель из любого положения на повышенной скорости движется в положение $\alpha = 0^0$ и останавливается.

Вариант 5.

Тележка движется по кольцевому пути, на котором есть 3 фиксированных положения П0, П1 и П2. Привод тележки – от нереверсивного электродвигателя.

При подаче питания из любого положения тележка должна идти в положение П0. При нажатии на кнопку «Пуск» тележка без задержки движется в положение П1,

стоит там в течение 3с, затем движется в П2, стоит там в течение 4с, движется в положение П0, стоит там в течение 5с, движется в П1, стоит там в течение 3с и т.д. То есть тележка непрерывно движется по кольцевому пути с остановками в фиксированных положениях.

При нажатии на кнопку «Стоп» тележка должна без остановки идти в П0 и там ожидать очередного нажатия кнопки «Пуск».

Вариант 6.

Автоматизировать линию сортировки изделий. По конвейеру движутся низкие изделия, но редко могут встречаться и высокие. По ходу конвейера установлены две фотоголовки на расстоянии друг от друга, равном половине ширины изделия. Первая по ходу конвейера фотоголовка настроена на низкие изделия (нижняя фотоголовка), вторая – на высокие изделия (верхняя фотоголовка).

При прохождении низкой детали перекрывается только нижняя фотоголовка, а при высоких – вначале нижняя, а затем верхняя фотоголовки. На выходе конвейера детали ударяются о сортировочную планку и высокие изделия поступают в правый накопитель (левое положение планки), низкие - в левый (правое положение планки). Планка перебрасывается пневмоприводом. Для переброски планки влево или вправо достаточно хотя бы кратковременно подать команду на ее перемещение влево или вправо. Включение системы в работу – нажатием кнопки «Пуск».

Вариант 7.

Перекладыватель служит для перемещения листов со стола на постоянно вращающийся рольганг. Перекладыватель имеет подъемник листов, установленный на тележке. Подъемник представляет собой поперечину, перемещающуюся по вертикальным стойкам сверху вниз и обратно. Поперечина имеет на конце электромагнит для притягивания листов.

В исходном положении перекладыватель стоит в положении П0 над столом, а его подъемник в крайнем верхнем положении КВ. При поступлении листа на стол подается сигнал наличия листа, подъемник включается для движения вниз. При касании листа подъемник останавливается и включается электромагнит. Через 2с включается подъемник на подъем, достигает положения КВ и останавливается. Включается тележка и перемещается в положение П1 над рольгангом, где останавливается и электромагнит отключается. Лист падает на рольганг. Через 2с тележка движется в положение П0. Цикл повторяется при поступлении очередного сигнала наличия листа. Включение системы в работу – нажатием кнопки «Пуск».

Вариант 8.

В контроллере программным путем необходимо реализовать генератор импульсов. Время наличия импульса 1с, время его отсутствия 2с. При нажатии на кнопку «Пуск» начинается счет импульсов. При прохождении 10 импульсов

загорается лампа Л1, при прохождении следующих 10 импульсов – лампа Л2, аналогично включаются лампы Л3 и Л4. После загорания лампы Л4 (т.е. после прохождения 40 импульсов) счет прекращается и все лампы горят до нажатия на кнопку «Стоп». Генератор импульсов реализовать программным путем.

Вариант 9.

Автоматизировать перемещение пуансона штампованного пресса. Рабочий заправляет металлическую ленту (заготовку) и нажимает кнопку «Пуск». Пуансон из крайнего верхнего положения П0 движется вниз, при своем движении до положения п1 входит в матрицу, выбивая из ленты деталь необходимой формы, и возвращается в положение П0. чисто механическим устройством лента перемещается на один шаг и через 2с пуансон совершает очередное движение. Лента рассчитана на изготовление 10 деталей, поэтому через 10 ходов пуансона формируется сигнал «конец цикла».

При подаче питания на систему автоматизации пуансон из любой точки должен прийти в положение П0.

Вариант 10.

На программируемом контроллере реализовать систему управления толкателем с кривошипно-шатунным механизмом с реверсивным электродвигателем.

Толкатель имеет два фиксированных положения П0 и П1. При подаче питания на систему толкатель из любого положения движется вперед медленно до положения П0. При появлении кратковременного сигнала «Пуск» толкатель из положения П0 медленно движется до положения П1, стоит там в течение 2с, а затем электродвигатель включается для движения назад быстро и возвращается в положение П0, где формируется сигнал «Конец цикла». Цикл повторяется при нажатии кнопки «Пуск».

При нажатии кнопки «Стоп» толкатель из любого положения на быстрой скорости возвращается в положение П0.

Вариант 11.

Автоматизировать управление крышкой котла (типа большой кастрюли). При кратковременном нажатии кнопки «Открыть» крышка поднимается до крайнего верхнего положения, в котором поворачивается, открывая доступ к содержимому котла.

При кратковременном нажатии на кнопку «Закрыть» крышка поворачивается в положение точно над котлом и затем опускается, закрывая котел.

Для исключения ударов предусмотреть переход на пониженную скорость перед касанием крышкой котла при его закрывании.

Вариант 12.

Автоматизировать управление дверью (воротами) въезда/выезда гаража. Нормальное (исходное) положение двери закрытое. При кратковременном нажатии

кнопки «Открыть» включается звонок и через 5с включается привод двери на открывание. При полном открытии двери привод двери отключается сразу, а звонок звенит еще 2с.

Закрывание дверей – аналогично: при кратковременном нажатии кнопки «Закрыть» включается звонок, через 5с включается привод двери на закрывание. При полном закрытии двери привод двери отключается, а звонок звенит еще 2с.

Требования к отчёту

Отчет должен содержать:

1. Цель работы;
2. Условия задачи по варианту, принятые обозначения переменных, логические функции для выходных и промежуточных переменных, при необходимости циклограмму работы оборудования;
3. Логические функции в адресах логического модуля LOGO!;
4. Программу для реализации системы управления на реле LOGO!;
5. Методику экспериментальной проверки функционирования реализованной системы управления и результаты проверки;
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется конфигурирование логического модуля
2. Сколько таймеров можно реализовать в исследуемом реле?
3. Что означает термины «дискретный флаг» и «аналоговый флаг»?
4. Какие режимы может реализовать таймер?
5. Какую максимальную задержку времени можно выполнить на таймере?
6. Сколько счётчиков можно реализовать в исследуемом реле?
7. Какую максимальную уставку можно задать счётчику?
8. Как осуществляется программирование аналогового компаратора?
9. Каково назначение потенциометра на лицевой панели модуля LOGO!?

2.2 Работа №2. Синтез и анализ алгоритмов управления модуля ленточного конвейера. Изучение дискретной системы управления двигателем постоянного тока совместно с датчиками технологической информации на основе программируемого логического реле.

Цель работы

Ознакомиться с принципом работы дискретной системы управления, изучить назначение и технические характеристики датчиков, приобрести навыки разработки алгоритма управления, а также программирования данной системы с применением специализированного программного обеспечения LOGO! Soft Comfort.

Содержание работы

Дома, при подготовке к работе:

– Изучить назначение, технические характеристики логического модуля LOGO!, основные узлы и возможности лабораторного стенда;

– Изучить систему команд и принципы программирования LOGO!;

– Изучить описание модуля ленточного конвейера, ознакомиться с характеристиками всех его элементов;

– Выполнить синтез системы автоматизации согласно выданному варианту задания;

– Составить программу для ввода в контроллер;

В лаборатории:

– Закрепить полученные при подготовке к лабораторной работе знания на практике;

– Отладить мехатронный модуль в ручном режиме;

– Сконфигурировать необходимое оборудование в LOGO! Soft Comfort;

– Набрать с панели модуля или на компьютере подготовленную программу, откомпилировать ее и ввести логический модуль LOGO! в работу. Убедиться в правильности работы программы.

Общие сведения

Лабораторная работа №2 является примером разработки алгоритма управления и является обязательной к выполнению.

Для проведения данной лабораторной работы необходимо использовать лабораторный модуль «Логический модуль LOGO!» (рисунок 26), мехатронный модуль ленточного конвейера (Рисунок 27), пульт ручного управления модулем (рисунок 28).



Рисунок 26 – Внешний вид лабораторного модуля «Логический модуль LOGO!»

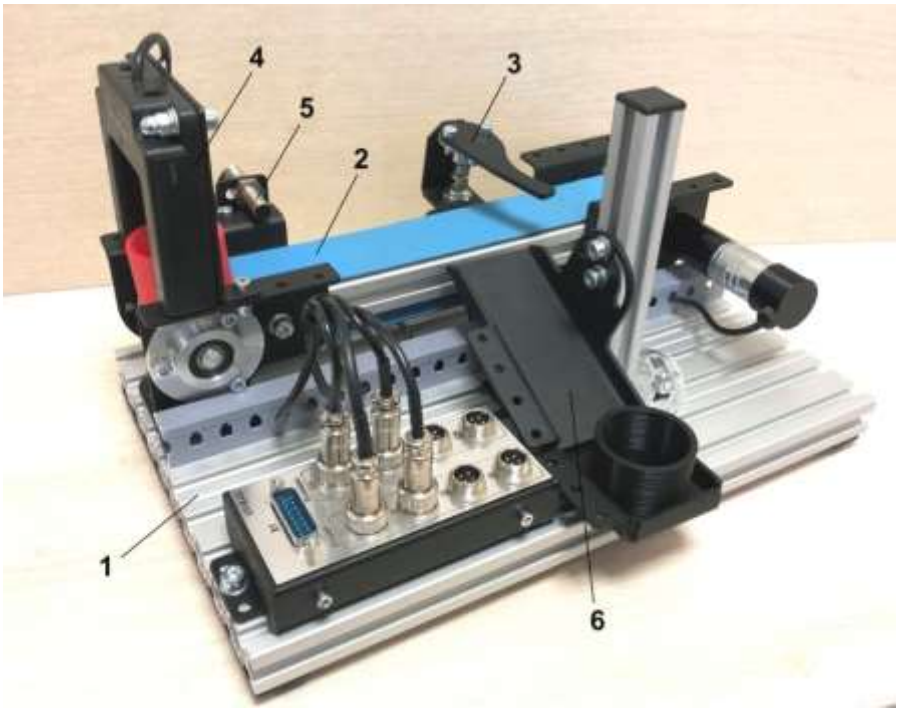


Рисунок 27 – Мехатронный модуль ленточного конвейера



Рисунок 28 – Пульт ручного управления модулем

Рассмотрение технических характеристик лабораторного модуля «Логический модуль LOGO!» подробно проведено в лабораторной работе №1. В текущей работе информация о нем опускается.

Пульт ручного управления модулем предназначен для отладки мехатронного модуля в ручном режиме. Он позволяет отслеживать входные сигналы, поступающие от датчиков системы и подавать управляющие сигналы на исполнительные устройства.

Мехатронный модуль ленточного конвейера (рисунок 27) представляет собой имитационную модель автоматизированного участка сортировки и перемещения изделий. Модель размещена на алюминиевой профильной плите (1). Данный модуль может работать как самостоятельно, так и совместно с другими мехатронными модулями, выступая в роли устройства перемещения и сортировки изделий.

Основным узлом модуля является узел ленточного конвейера (2) с закрепленным на нем электрическим стоппером (3), предназначенный для перемещения изделий и их сортировки по признаку металл-неметалл. Стартом к работе конвейера служит сигнал от щелевого оптического датчика BUP-50S-P (4), закрепленного на перилах узла. За определение металлической заготовки отвечает индуктивный датчик ВБИ-М8 (5), закрепленный на перилах узла конвейера. При срабатывании стоппера, заготовка отклоняется с ленты конвейера в приемный лоток (6).

Также, при совместной работе данного модуля с другими модулями, на перилах конвейера можно закрепить чувствительный элемент диффузионного оптического датчика. Это позволит регистрировать наличие заготовки в определенной зоне конвейера и отличать черные заготовки от нечерных.

Мехатронный модуль также оснащен распределительной коробкой UT-R-02, к которой через разъемы M12 подключаются все датчики и исполнительные устройства (двигатель конвейера и электро-стоппер), а также вспомогательные устройства (кнопка, лампа, переключатель), задействованные в системе автоматизации модуля. В

свою очередь распределительная коробка через разъем X1 специальным кабелем подключается к лабораторному модулю LOGO!.

Подробные характеристики элементов физической модели приведены в техническом описании.

Внимание! При подключении компонентов мехатронного модуля к программируемому логическому реле LOGO! Необходимо помнить следующие правила:

– Все датчики, кнопка и переключатель подключаются к соответствующим разъемам распределительной коробки – Входы (I1-I4).

– Двигатель конвейера, стоппер и лампа подключаются к соответствующим разъемам распределительной коробки – Выходы (Q1-Q4).

Порядок выполнения работы

Подключить питание к модулям, необходимым для выполнения лабораторной работы. После подключения питания следует выполнить отладку мехатронного модуля в ручном режиме, для этого:

– Подключить необходимые вспомогательные устройства к распределительной коробке UT-R-02;

– Соединить пульт ручного управления модулем с мехатронным модулем ленточного конвейера (разъем DB15 распределительной коробки UT-R-02 и разъем DB15 пульта ручного управления);

– Подавая сигналы с тумблеров пульта ручного управления (выходные сигналы) выполнить полный цикл в ручном режиме, убедиться в корректной работе датчиков в процессе работы (входные сигналы пульта ручного управления).

Полный цикл работы представлен в демонстрационном видео (USB накопитель).

При успешном завершении полного цикла составить таблицу подключения устройств к распределительной коробке UT-R-02 (таблица 11).

Таблица 11 – Пример таблицы соответствия входных/выходных сигналов UT-R-02

Адрес	Комментарий
I1	Сигнал от щелевого оптического датчика BUP-50S-P
….	….
Q1	Управляющий сигнал на электрический стоппер
….	….

После проведения отладки мехатронного модуля в ручном режиме можно преступать к разработке алгоритма управления мехатронного модуля. В качестве примера будет рассмотрен процесс создания алгоритма управления ленточным конвеъером (демонстрационное видео на USB накопителе).

Разработка алгоритма управления

Разработка алгоритма управления разделяется на следующие этапы:
– Словесное описание полного цикла работы;
– Разработка функциональной схемы процесса;
– Составление таблицы соответствия адресов;
– Составление логических уравнений;
– Составление программы на одном из языков программирования;
– Отладка и проверка проекта на работоспособность.

Словесное описание полного цикла работы

Конвейер начинает работать при появлении детали в области срабатывания щелевого оптического датчика. В зависимости от материала изделия следует выполнить следующую сортировку – металлические детали поместить в приемный лоток с помощью электрического стоппера, пластмассовые детали – перемещаются до конца конвейера. Определение металлических деталей происходит с помощью, установленного вначале конвейера, индуктивного датчика.

Разработка функциональной схемы процесса

Функциональная схема системы представлена на рисунке 29.

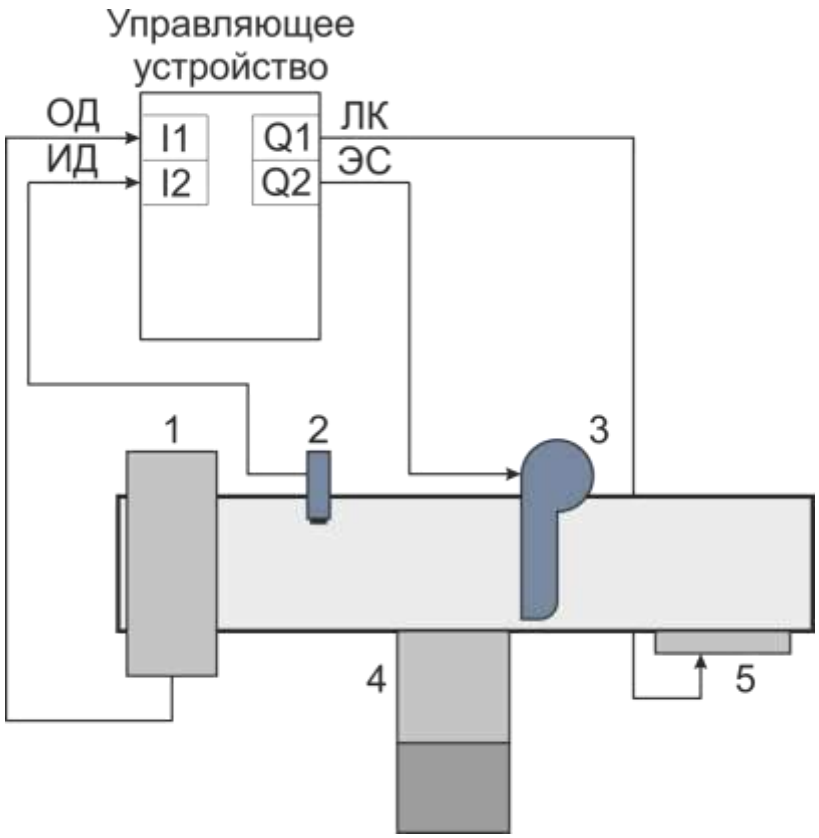


Рисунок 29 – Функциональная схема системы

На функционльной схеме изображается управляющее устройство и его выходные/выходные сигналы. Так же на схеме необходимо отобразить главные узлы технологического процесса, в данном случае: 1 – щелевой оптический датчик, 2 – индуктивный датчик, 3 – электрический стоппер, 4 – приемный лоток, 5 – двигатель ленточного конвейера.

Составление таблицы соответствия адресов

Для структурирования и удобности создания программы управления, необходимо состаить таблицу соответсвия адресов (Таблица 12).

Таблица 12 – Таблица соответствия адресов

Адрес перменной	Имя переменной	Комментарий
I1	ОД	Сигнал с щелевого оптического датчика о наличии заготовки
I2	ИД	Сигнал с индуктивного датчика о наличии металлического объекта на конвейере
Q1	ЛК	Управляющий сигнал на двигатель ленточного конвейера
Q2	ЭС	Управляющий сигнал на электрический стоппер

Составление логических уравнений

Для реализации системы управления технологическим процессом необходимо составить логические уравнения в адресах или в буквенных обозначениях перменных (по усмотрению преподавателя) которые обеспечат корректное выполнение полного цикла работы. В примере будут приведены уравнения в адресах управляющего устройства.

1. При наличии детали в области срабатывания щелевого оптического датчика конвейер начинает свое движение в течении следующих девяти секунд

$$Q1 = (I1 + Q1) \cdot$$

↓ – Задержка сигнала по заднему фронту, ↑ – по переднему.

2. При наличии сигнала с индуктивного датчика подается управляющий сигнал на электрчиесский стоппер для помещения металлической детали в накопительный лоток.

$$Q2 = (I2 + Q2) \cdot$$

Составление программы на одном из языков программирования

После написания логических уравнений следует создать проект в программной среде LOGO!Soft Comfort. Подробное описание создания проекта в LOGO!Soft Comfort было представлено в лабораторной работе №1. Программа, для загрузки в управляющее устройство имеет следующий вид (Рисунок 30).

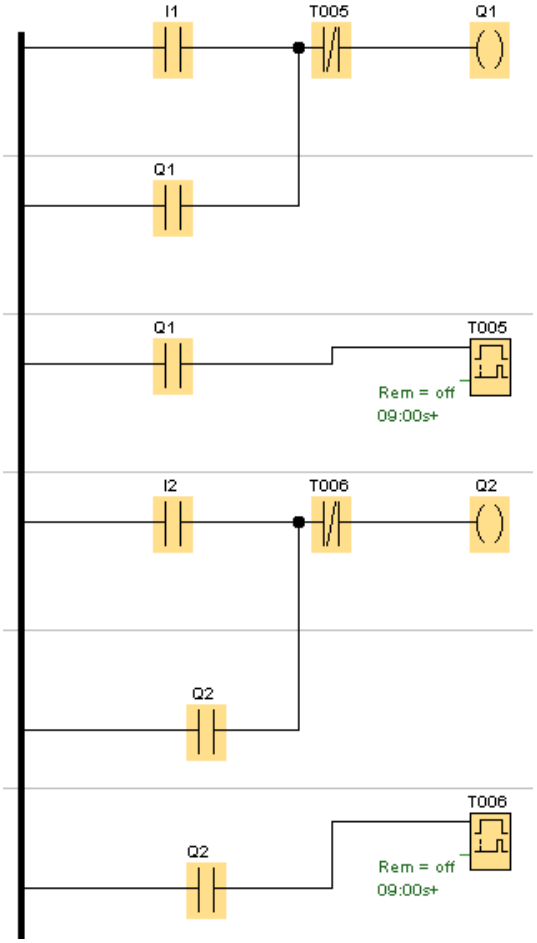


Рисунок 30 – Программа на языке FBD для реализации требуемого цикла работы

Отладка и проверка проекта на работоспособность

Последний этап разработки проекта автоматизации – отладка и проверка проекта на работоспособность. Провести тестировку системы в нескольких циклах, убедиться в её корректной работе, при наличии ошибок – провести корректировку проекта.

Задание

Выполнить все этапы разработки алгоритма автоматизации технологического процесса. Написать отчёт о проделанной работе.

2.3 Работа №3. Синтез и анализ алгоритмов управления модуля стекового накопителя.

Цель работы

Ознакомиться с принципом работы дискретной системы управления, изучить назначение и технические характеристики датчиков, приобрести навыки разработки алгоритма управления, а также программирования данной системы с применением специализированного программного обеспечения LOGO! Soft Comfort.

Содержание работы

Дома, при подготовке к работе:

– Изучить назначение, технические характеристики логического модуля LOGO!, основные узлы и возможности лабораторного стенда;

– Изучить систему команд и принципы программирования LOGO!;

– Изучить описание модуля стекового накопителя, ознакомиться с характеристиками всех его элементов;

– Выполнить синтез системы автоматизации согласно выданному варианту задания;

– Составить программу для ввода в контроллер;

В лаборатории:

– Закрепить полученные при подготовке к лабораторной работе знания на практике;

– Отладить мехатронный модуль в ручном режиме;

– Сконфигурировать необходимое оборудование в LOGO! Soft Comfort;

– Набрать с панели модуля или на компьютере подготовленную программу, откомпилировать ее и ввести логический модуль LOGO! в работу. Убедиться в правильности работы программы.

Общие сведения

Для проведения данной лабораторной работы необходимо использовать лабораторный модуль «Логический модуль LOGO!» (рисунок 26), мехатронный модуль стекового накопителя (Рисунок 31), пульт ручного управления модулем (рисунок 28).

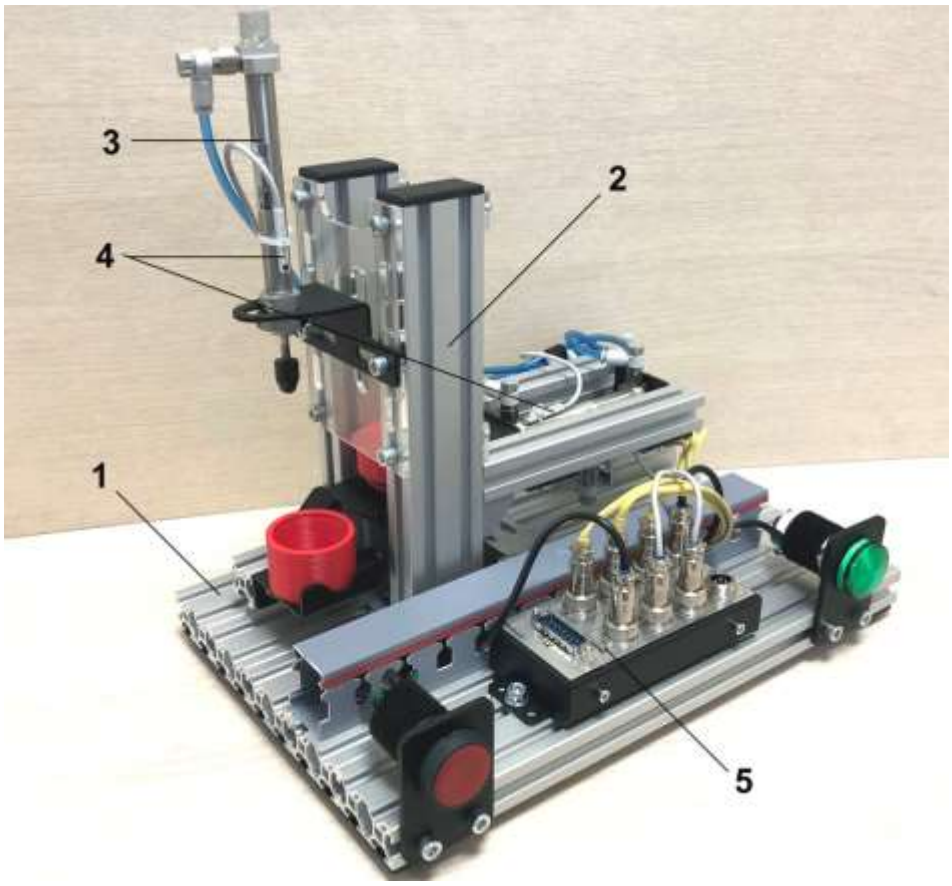


Рисунок 31 – Мехатронный модуль стекового накопителя

Описание модуля «Логический модуль LOGO!» приведено в лабораторной работе №1, описание пульта ручного управления приведено в лабораторной работе №2, их описание будет опущено.

Мехатронный модуль стекового накопителя (рисунок 31) представляет собой имитационную модель автоматизированного участка выдачи и сборки изделий. Модель размещена на алюминиевой профильной плите (1). Данный модуль может работать как самостоятельно, так и совместно с другими мехатронными модулями, выступая в роли устройства выдачи заготовок. Основным узлом модуля является узел выдачи (2), предназначенный для хранения и выдачи крышек или корпусов. При самостоятельной работе модуля, узел подает крышку для её дальнейшей запрессовки в корпус. Роль пресса выполняет пневмоцилиндр одностороннего действия, типа – CD85N10-50S-B (3), закрепленный на узле выдачи.

Крышки изначально находятся в гравитационной трубе узла выдачи. Труба с двух сторон имеет прозрачные стенки для визуального контроля количества оставшихся крышек. В узел можно загрузить максимум 6 заготовок.

Выдача заготовок из магазинной трубы производится пневматическим цилиндром двухстороннего действия, типа – CD85N10-50-B, на штоке которого закреплен пластиковый толкатель.

На пневмотических цилиндрах установлены датчики выдвинутого положения (4).

Изменение скорости перемещения поршней цилиндров производится при помощи дросселей с обратным клапаном, установленных на корпусах цилиндров. Для начала регулирования скорости, необходимо отщелкнуть крышку регулировочного винта дросселя.

Определение положения поршня пневмоцилиндра может быть осуществлено с помощью 2-х проводного магнитного концевого выключателя типа – D-A93, закрепленного на корпусе цилиндра хомутом

Управление пневмоцилиндрами осуществляется с помощью пневмораспределителей с электроуправлением, типа – SY3120-5LOU-C4-Q, закрепленных на пневмоплите (Рисунок 30)

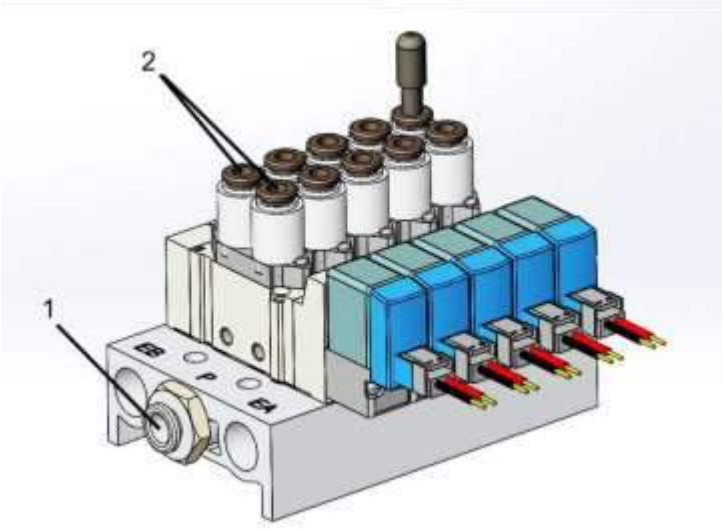


Рисунок 32 – Внешний вид пневмораспределителей, установленных на пневмоплите

Подача сжатого воздуха от компрессора к пневмораспределителям осуществляется трубкой 6 мм. через быстросъемное соединение (Рисунок 32 – 1).

Подача сжатого воздуха от пневмораспределителей к цилиндрам осуществляется трубкой диаметром 4 мм. через быстросъемные соединения (Рисунок 32 – 2). При подключении пневмораспределителя к пневмоцилиндру одностороннего действия, второе быстросъемное соединение глушится специальной пробкой.

Сверху на каждом пневмораспределителе расположена синяя кнопка ручной активации. Данная кнопка используется при наладке пневмосистемы модуля для

определения правильности монтажа и регулировки скорости движения штоков пневмоцилиндров.

Мехатронный модуль также оснащен распределительной коробкой UT-R-02 (Рисунок 31 – 5), к которой через разъемы M12 подключаются все датчики и пневмораспределители, а также вспомогательные устройства (кнопка, лампа, переключатель), задействованные в системе автоматизации модуля. В свою очередь распределительная коробка через разъем X1 специальным кабелем подключается к лабораторному модулю LOGO!.

Подробные характеристики элементов физической модели приведены в техническом описании.

Внимание! При подключении компонентов мехатронного модуля к программируемому логическому реле LOGO! Необходимо помнить следующие правила:

– Все датчики, кнопка и переключатель подключаются к соответствующим разъемам распределительной коробки – Входы (I1-I4).

– Двигатель конвейера, стоппер и лампа подключаются к соответствующим разъемам распределительной коробки – Выходы (Q1-Q4).

Порядок выполнения работы

Подключить питание к модулям, необходимым для выполнения лабораторной работы. После подключения питания следует выполнить отладку мехатронного модуля в ручном режиме, для этого:

– Подключить необходимые вспомогательные устройства к распределительной коробке UT-R-02;

– Соединить пульт ручного управления модулем с мехатронным модулем стекового накопителя (разъем DB15 распределительной коробки UT-R-02 и разъем DB15 пульта ручного управления);

– Подавая сигналы с тумблеров пульта ручного управления (выходные сигналы) выполнить полный цикл в ручном режиме, убедиться в корректной работе датчиков в процессе работы (входные сигналы пульта ручного управления).

Полный цикл работы представлен в демонстрационном видео (USB накопитель).

При успешном завершении полного цикла составить таблицу подключения устройств к распределительной коробке UT-R-02 (таблица 13).

Таблица 13 – Пример таблицы соответствия входных/выходных сигналов UT-R-02

Адрес	Комментарий
I1	Сигнал с кнопки «Пуск»
….	….
Q1	Управляющий сигнал на пневматический цилиндр
….	….

После проведения отладки мехатронного модуля в ручном режиме можно преступать к разработке алгоритма управления мехатронного модуля. В качестве примера будет рассмотрен процесс создания алгоритма управления стековым накопителем (демонстрационное видео на USB накопителе).

Разработка алгоритма управления

Разработка алгоритма управления разделяется на следующие этапы:
– Словесное описание полного цикла работы;
– Разработка функциональной схемы процесса;
– Составление таблицы соответствия адресов;
– Составление логических уравнений;
– Составление программы на одном из языков программирования;
– Отладка и проверка проекта на работоспособность.

Словесное описание полного цикла работы

Поместить заготовку в рабочую зону пневмоцилиндра для прессовки крышек. По нажатию на кнопку «Пуск», пневмоцилиндром выдачи, крышка помещается на заготовку, происходит ее запрессовка. После, рабочая зона пневмоцилиндра прессовки крышек освобождается.

Разработка функциональной схемы процесса

Функциональная схема системы представлена на рисунке 33.

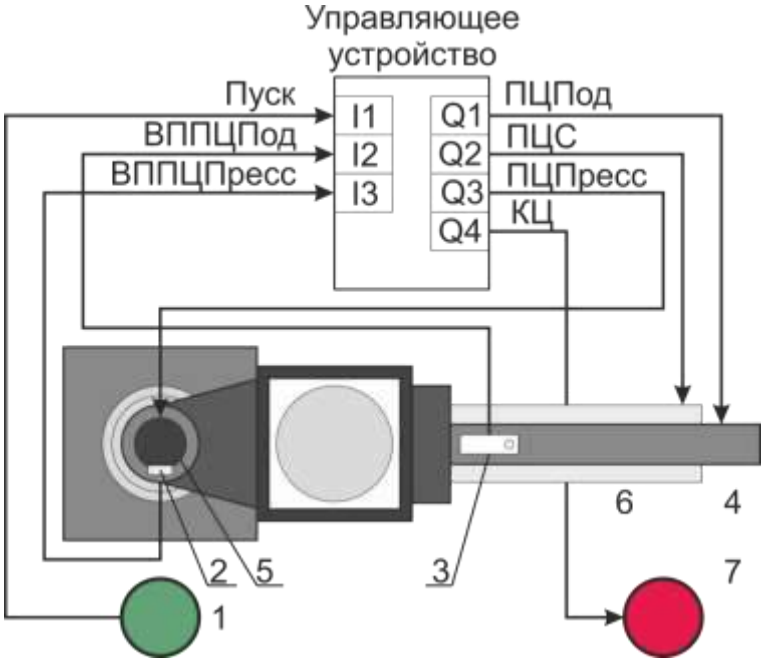


Рисунок 33 – Функциональная схема системы

На функционльной схеме изображается управляющее устройство и его выходные/выходные сигналы. Так же на схеме необходимо отобразить главные узлы технологического процесса, в данном случае: 1 – кнопка «Пуск», 2 – датчик выдвинутого положение пневмоцилиндра пресса, 3 – датчик выдвинутого положение пневмоцилиндра выдачи, 4 – пневмоцилиндр выдачи, 5 – пневмоцилиндра пресса, 6 – пневмоцилиндр сталкивателя, 6 – лампа «Конец цикла».

Составление таблицы соответствия адресов

Для структурирования и удобности создания программы управления, необходимо состаить таблицу соответсвия адресов (Таблица 14)

Таблица 14 – Таблица соответсвия адресов

Адрес перменной	Имя переменной	Комментарий
I1	Пуск	Сигнал с кнопки «Пуск»
I2	ВППЦПод	Сигнал с датчика выдвинутого положение пневмоцилиндра подачи
I3	ВППЦПресс	Сигнал с датчика выдвинутого положение пневмоцилиндра пресса
Q1	ПЦПод	Управляющий сигнал на пневмоцилиндр подачи
Q2	ПЦС	Управляющий сигнал на пневмоцилиндр сталкивателя
Q3	ПЦПресс	Управляющий сигнал на пневмоцилиндр пресса
Q4	КЦ	Сигнал на лампу «Конец цикла»

Составление логических уравнений

Для реализации системы управления технологическим процессом необходимо составить логические уравнения в адресах или в буквенных обозначениях перменных (по усмотрению преподавателя) которые обеспечат корректное выполнение полного цикла работы. В примере будут приведены уравнения в адресах управляющего устройства.

1. По нажатию на кнопку «Пуск» начинается цикл прессовки крышек

Подача крышки – $Q1 = (I1 + Q1) \cdot$ [illegible]

Прессовка крышки – $Q3 = (I2^{\uparrow 2c} + Q3) \cdot$ [illegible]

Сталкивание готовой детали – $Q2 = I3^{\uparrow 2c} \cdot$??????

Конец цикла – $Q4 = Q2^{\uparrow 6c}$

Составление программы на одном из языков программирования

После написания логических уравнений следует создать проект в программной среде LOGO!Soft Comfort. Подробное описание создания проекта в LOGO!Soft Comfort было представлено в лабораторной работе №1. Программа, для загрузки в управляющее устройство имеет следующий вид (Рисунок 34).

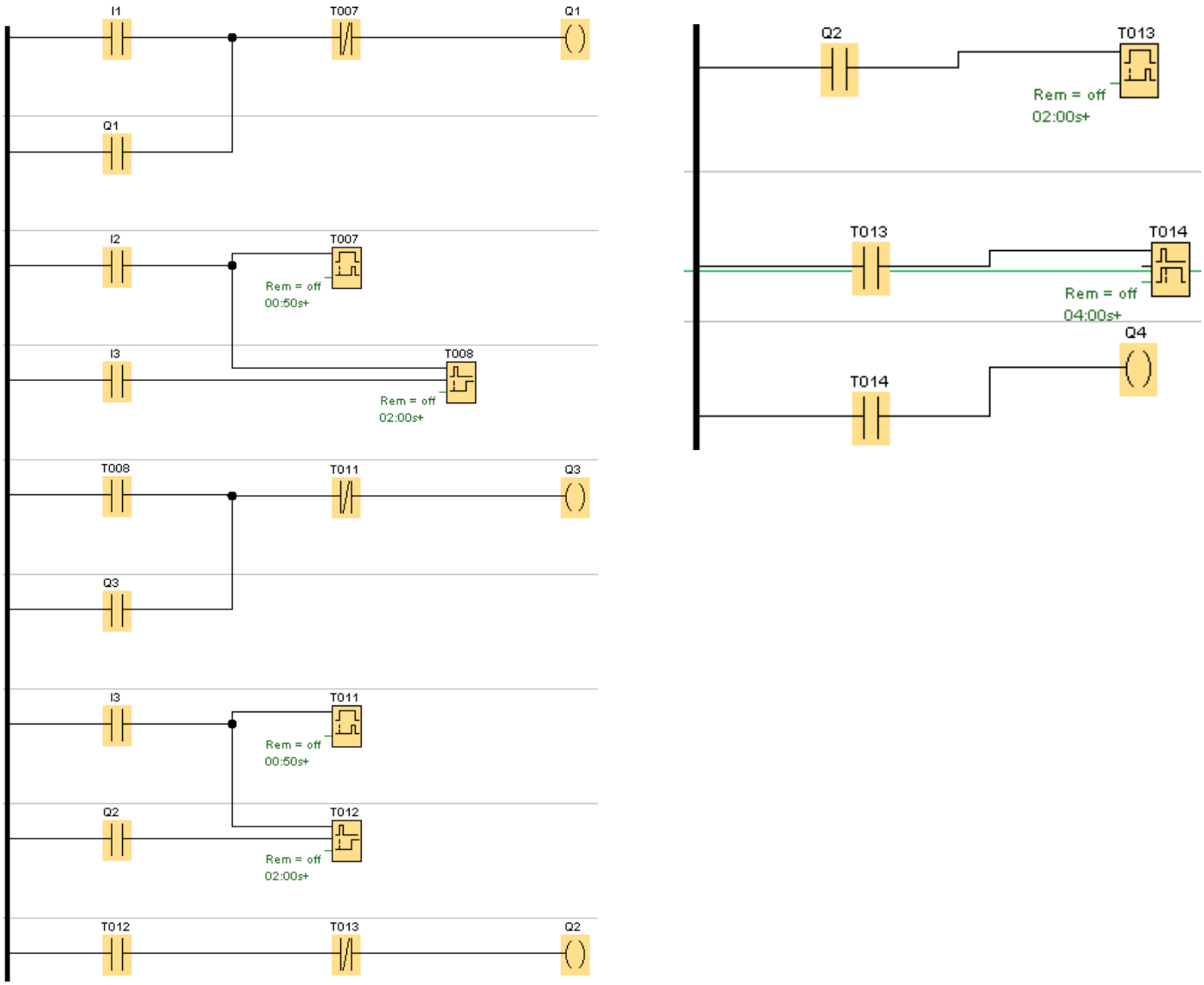


Рисунок 34 – Программа на языке FBD для реализации требуемого цикла работы

Отладка и проверка проекта на работоспособность

Последний этап разработки проекта автоматизации – отладка и проверка проекта на работоспособность. Провести тестировку системы в нескольких циклах, убедиться в её корректной работе, при наличии ошибок – провести корректировку проекта.

Задание

Выполнить все этапы разработки алгоритма автоматизации технологического процесса. Написать отчёт о проделанной работе.

2.4 Работа №4. Синтез и анализ алгоритмов управления модуля пневматического манипулятора.

Цель работы

Ознакомиться с принципом работы дискретной системы управления, изучить назначение и технические характеристики датчиков, приобрести навыки разработки алгоритма управления, а также программирования данной системы с применением специализированного программного обеспечения LOGO! Soft Comfort.

Содержание работы

Дома, при подготовке к работе:

– Изучить назначение, технические характеристики логического модуля LOGO!, основные узлы и возможности лабораторного стенда;

– Изучить систему команд и принципы программирования LOGO!;

– Изучить описание модуля пневматического манипулятора, ознакомиться с характеристиками всех его элементов;

– Выполнить синтез системы автоматизации согласно выданному варианту задания;

– Составить программу для ввода в контроллер;

– Ответить на контрольные вопросы.

В лаборатории:

– Закрепить полученные при подготовке к лабораторной работе знания на практике;

– Отладить мехатронный модуль в ручном режиме;

– Сконфигурировать необходимое оборудование в LOGO! Soft Comfort;

– Набрать с панели модуля или на компьютере подготовленную программу, откомпилировать ее и ввести логический модуль LOGO! в работу. Убедиться в правильности работы программы.

Общие сведения

Для проведения данной лабораторной работы необходимо использовать лабораторный модуль «Логический модуль LOGO!» (рисунок 26), мехатронный модуль пневматического манипулятора (Рисунок 35), пульт ручного управления модулем (рисунок 28).

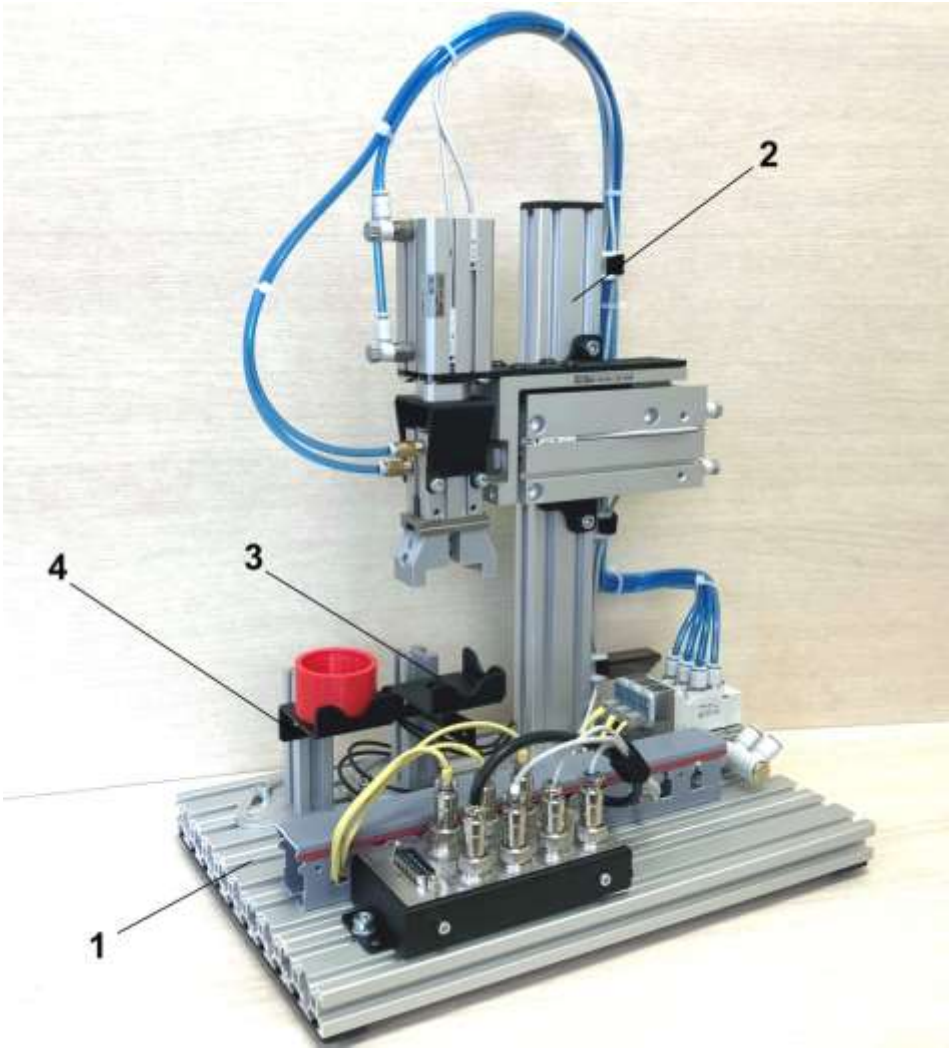


Рисунок 35 – Мехатронный модуль пневматического манипулятора

Описание модуля «Логический модуль LOGO!» приведено в лабораторной работе №1, описание пульта ручного управления приведено в лабораторной работе №2, их описание будет опущено.

Мехатронный модуль пневматического манипулятора представляет собой имитационную модель автоматизированного участка перекладки изделий. Модель размещена на алюминиевой профильной плите (1). Данный модуль может работать как самостоятельно, так и совместно с другими мехатронными модулями, выступая в роли устройства перемещения изделий.

Основным узлом модуля является узел манипулятора (2), предназначенный для перемещения изделий. При самостоятельной работе модуля, узел пневмозахватом

захватывает заготовку, расположенную на приемной платформе (3) и перемещает её на платформу складирования (4).

На приемной платформе может быть закреплен чувствительный элемент оптического диффузионного датчика BF3R, который подает стартовый сигнал реле LOGO! при появлении заготовки на площадке платформы. Сам датчик крепится к профильной плите модуля посредством DIN-рейки.

На рисунке 36 показана последовательность подключения световодов чувствительного элемента к датчику.

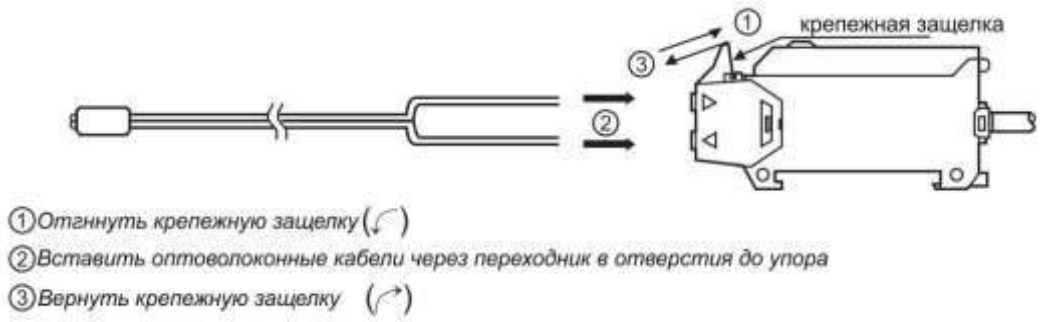


Рисунок 36 – Последовательность подключения световодов чувствительного элемента к датчику

Захват заготовки с приемной платформы выполняет параллельный пневмозахват – типа MHZ2-16. Для гарантированного захвата перемещаемой заготовки, нужно предварительно произвести регулировку приемной платформы по высоте.

Перемещение заготовки по горизонтали осуществляется с помощью пневматического цилиндра двустороннего действия – типа MXH20-60Z. На штоке данного цилиндра закреплен пневматический цилиндр вертикального перемещения заготовки – типа CDQMB20-40.

Скорость движения штоков цилиндров бесступенчато регулируется при помощи пневмодросселей с обратным клапаном, закрепленных на корпусах пневмоцилиндров.

Определение крайних положений штоков цилиндров осуществляется с помощью 2-проводных магнитных датчиков – типа D-A93. Датчики крепятся в пазах на передней части корпусов пневмоцилиндров. Для настройки срабатывания датчиков на крайние положения штока, необходимо перемещать датчики вдоль паза.

Управление пневматическими устройствами модуля осуществляется с помощью пневмораспределителей с электроуправлением, типа – SY3120-5LOU-C4-Q, закрепленных на пневмоплите (Рисунок 37).

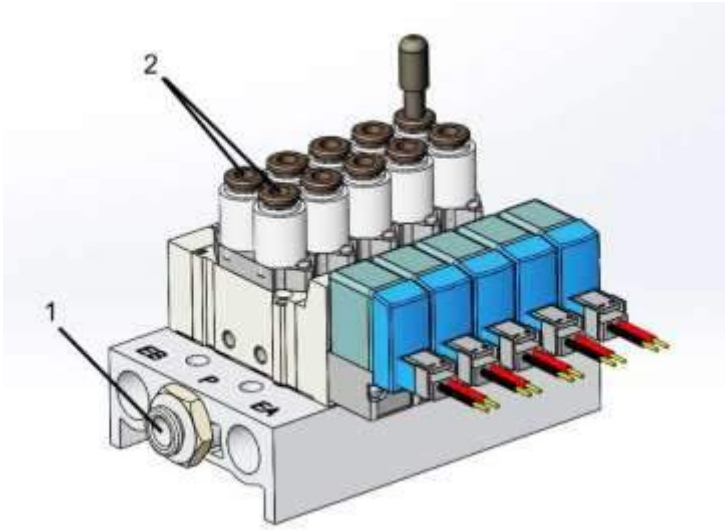


Рисунок 37 – Пневмораспределитель

Подача сжатого воздуха от компрессора к пневмораспределителям осуществляется трубкой 6 мм. через быстросъемное соединение (Рисунок 37 - 1).

Подача сжатого воздуха от пневмораспределителей к исполнительным пневмоустройствам осуществляется трубкой диаметром 4 мм. через быстросъемные соединения (Рисунок 37 - 2). Сверху на каждом пневмораспределителе расположена синяя кнопка ручной активации. Данная кнопка используется при наладке пневмосистемы модуля для определения правильности монтажа и регулировки скорости движения штоков пневмоцилиндров.

Мехатронный модуль также оснащен распределительной коробкой UT-R-02, к которой через разъемы M12 подключаются все датчики и пневмораспределители, а также вспомогательные устройства (кнопка, лампа, переключатель), задействованные в системе автоматизации модуля. В свою очередь распределительная коробка через разъем X1 специальным кабелем подключается к лабораторному модулю LOGO!.

Подробные характеристики элементов физической модели приведены в техническом описании.

Внимание! При подключении компонентов мехатронного модуля к программируемому логическому реле LOGO! Необходимо помнить следующие правила:

– Все датчики, кнопка и переключатель подключаются к соответствующим разъемам распределительной коробки – Входы (I1-I4).

– Двигатель конвейера, стоппер и лампа подключаются к соответствующим разъемам распределительной коробки – Выходы (Q1-Q4).

Порядок выполнения работы

Подключить питание к модулям, необходимым для выполнения лабораторной работы. После подключения питания следует выполнить отладку мехатронного модуля в ручном режиме, для этого:

– Подключить необходимые вспомогательные устройства к распределительной коробке UT-R-02;

– Соединить пульт ручного управления модулем с мехатронным модулем пневматического манипулятора (разъем DB15 распределительной коробки UT-R-02 и разъем DB15 пульта ручного управления);

– Подавая сигналы с тумблеров пульта ручного управления (выходные сигналы) выполнить полный цикл в ручном режиме, убедиться в корректной работе датчиков в процессе работы (входные сигналы пульта ручного управления).

Полный цикл работы представлен в демонстрационном видео (USB накопитель).

При успешном завершении полного цикла составить таблицу подключения устройств к распределительной коробке UT-R-02 (таблица 15).

Таблица 15 – Пример таблицы соответствия входных/выходных сигналов UT-R-02

Адрес	Комментарий
I1	Сигнал с датчика, сигнализирующий о наличии заготовки
….	….
Q1	Команда «Манипулятор влево»
….	….

После проведения отладки мехатронного модуля в ручном режиме можно преступать к разработке алгоритма управления мехатронного модуля.

Разработка алгоритма управления

Разработка алгоритма управления разделяется на следующие этапы:
– Словесное описание полного цикла работы;
– Разработка функциональной схемы процесса;
– Составление таблицы соответствия адресов;
– Составление логических уравнений;
– Составление программы на одном из языков программирования;
– Отладка и проверка проекта на работоспособность.

На основе знаний, полученных в предыдущих лабораторных работах, выполнить следующие пункты разработки алгоритма управления самостоятельно:
– Словесное описание полного цикла работы;
– Разработка функциональной схемы процесса;
– Задание имени переменной;
– Словесное описание логических уравнений;
– Отладка и проверка проекта на работоспособность.

Составление таблицы соответствия адресов

Для структурирования и удобности создания программы управления, необходимо состаить таблицу соответсвия адресов (Таблица 16). Имя перменной выбрать самостоятельно.

Таблица 16 – Таблица соответсвия адресов

Адрес перменной	Имя переменной	Комментарий
I1	….	Сигнал о наличии заготовки
I2	….	Сигнал с датчика, сигнализирующего о нижнем положении захвата
I3	….	Сигнал с датчика, сигнализирующего о верхнем положении захвата
I4	….	Сигнал с датчика, сигнализирующего о нахождении манипулятора в крайнем левом положении
Q1	….	Управляющий сигнал для пермещения манипулятора влево
Q2	….	Управляющий сигнал для опускания захвата
Q3	….	Управляющий сигнал для поднятия

Составление логических уравнений

Для реализации системы управления технологическим процессом необходимо составить логические уравнения в адресах или в буквенных обозначениях перменных (по усмотрению преподавателя) которые обеспечат корректное выполнение полного цикла работы. В примере будут приведены уравнения в адресах управляющего устройства. Описание уравнений выполнить самостоятельно.

Уравнения, для реализации автоматизированной работы системы:

$$M20 = (I1^{\uparrow 2c} \cdot I3 \cdot Q3 + M20) \cdot \overline{I2^{\uparrow 2c}}$$
$$M24 = (I3 \cdot I2^{\uparrow 1c} \cdot Q3 + M24) \cdot \overline{I2^{\uparrow 2c}}$$
$$M22 = (I2 + M22) \cdot \overline{I4}$$
$$M32 = I4 \cdot I3 \cdot \overline{Q3}$$
$$M33 = (I2 \cdot I4 + M33) \cdot \overline{I3}$$
$$Q2 = M20 + M24$$
$$Q3 = (I1 \cdot I2^{\uparrow 1c} + Q3) \cdot \overline{M33^{\uparrow 1c}}$$
$$Q1 = (I3^{\uparrow 1c} \cdot M32 + Q1) \cdot \overline{M32}$$

Составление программы на одном из языков программирования

После написания логических уравнений следует создать проект в программной среде LOGO!Soft Comfort. Подробное описание создания проекта в LOGO!Soft Comfort было представлено в лабораторной работе №1. Программа, для загрузки в управляющее устройство имеет следующий вид (Рисунки 38-40).

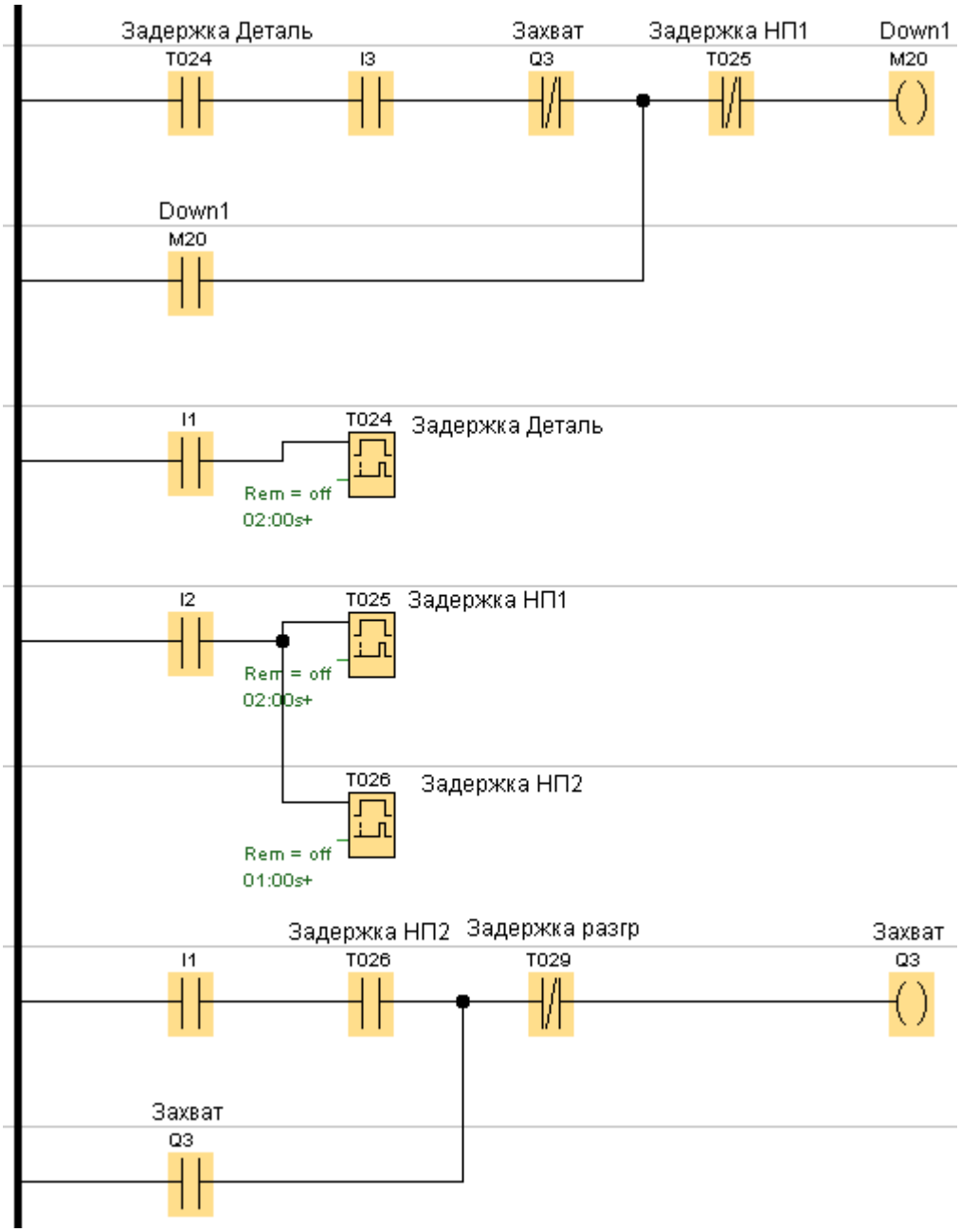


Рисунок 38 – Программа на языке FBD для реализации требуемого цикла работы

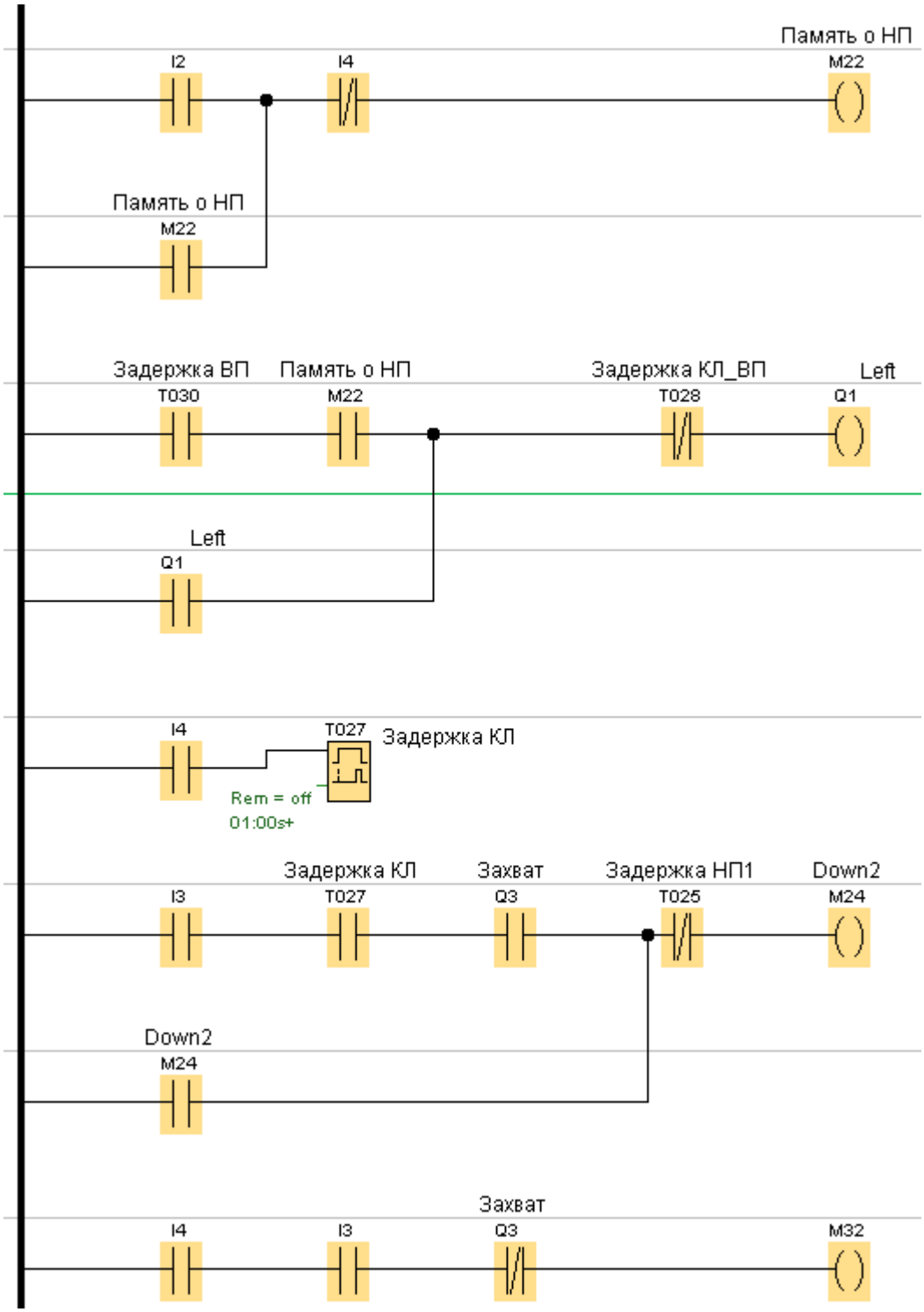


Рисунок 39 – Программа на языке FBD для реализации требуемого цикла работы

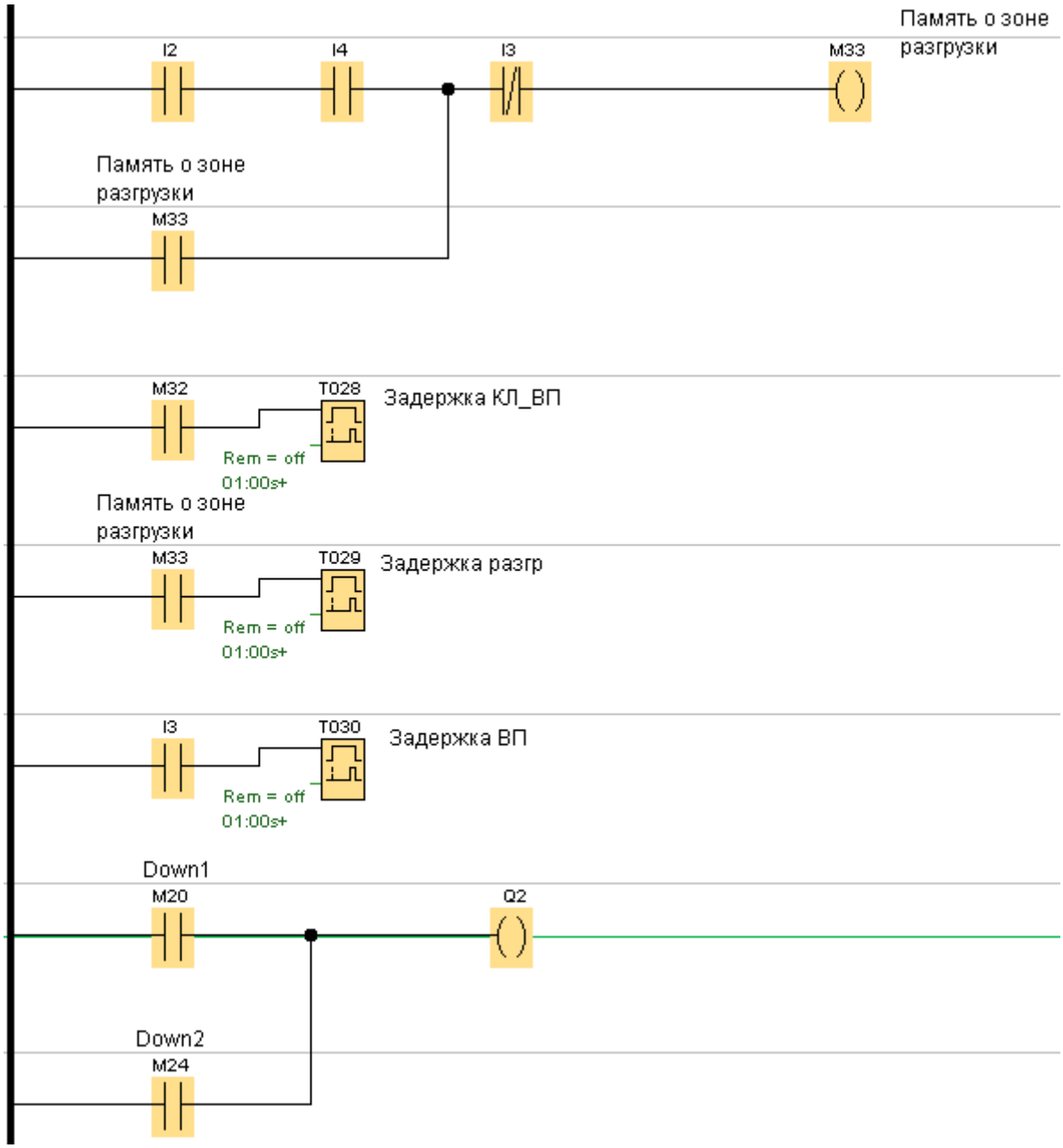


Рисунок 40 – Программа на языке FBD для реализации требуемого цикла работы

Задание

Завершить проект автоматизации, убедиться в правильности работы технологического процесса, продемонстрировать его преподавателю. Написать отчёт о проделанной работе.

2.5 Работа №5. Синтез и анализ алгоритмов управления модуля маятникового перекладчика.

Цель работы

Ознакомиться с принципом работы дискретной системы управления, изучить назначение и технические характеристики датчиков, приобрести навыки разработки алгоритма управления, а также программирования данной системы с применением специализированного программного обеспечения LOGO! Soft Comfort.

Содержание работы

Дома, при подготовке к работе:

– Изучить назначение, технические характеристики логического модуля LOGO!, основные узлы и возможности лабораторного стенда;

– Изучить систему команд и принципы программирования LOGO!;

– Изучить описание модуля маятникового перекладчика, ознакомиться с характеристиками всех его элементов;

– Выполнить синтез системы автоматизации согласно выданному варианту задания;

– Составить программу для ввода в контроллер;

– Ответить на контрольные вопросы.

В лаборатории:

– Закрепить полученные при подготовке к лабораторной работе знания на практике;

– Отладить мехатронный модуль в ручном режиме;

– Сконфигурировать необходимое оборудование в LOGO! Soft Comfort;

– Набрать с панели модуля или на компьютере подготовленную программу, откомпилировать ее и ввести логический модуль LOGO! в работу. Убедиться в правильности работы программы.

Общие сведения

Для проведения данной лабораторной работы необходимо использовать лабораторный модуль «Логический модуль LOGO!» (рисунок 26), мехатронный модуль маятникого перекладчика (Рисунок 41), пульт ручного управления модулем (рисунок 28).

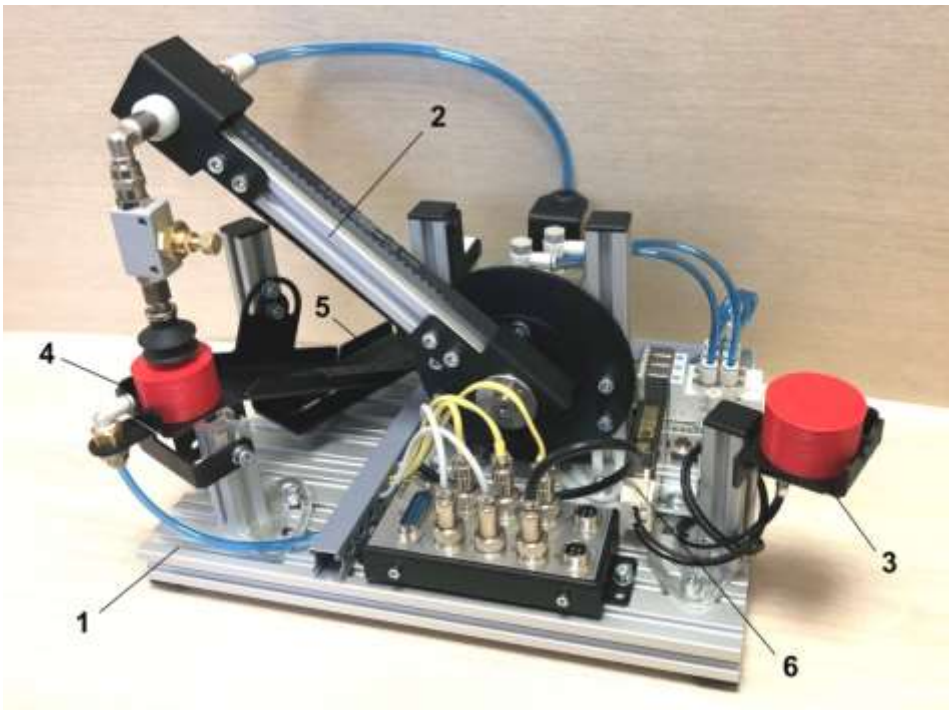


Рисунок 41 – Мехатронный модуль маятникового перекладчика

Описание модуля «Логический модуль LOGO!» приведено в лабораторной работе №1, описание пульта ручного управления приведено в лабораторной работе №2, их описание будет опущено.

Мехатронный модуль маятникого перекладчика (Рисунок 41) представляет собой имитационную модель автоматизированного участка перекладки изделий. Модель размещена на алюминиевой профильной плите (1). Данный модуль может работать как самостоятельно, так и совместно с другими мехатронными модулями, выступая в роли устройства перемещения изделий.

Основным узлом модуля является узел маятникового перекладчика (2), предназначенный для перемещения изделий. При самостоятельной работе модуля, узел захватывает вакуумным присосом заготовку, расположенную на приемной платформе (3) и перемещает её на платформу складирования (4), откуда заготовка под действием струи сжатого воздуха, попадает в накопительный лоток (5).

На приемной платформе может быть закреплен чувствительный элемент оптического диффузионного датчика BF3R, который подает стартовый сигнал реле LOGO! при появлении заготовки на площадке платформы. Сам датчик (6) крепится к профильной плите модуля посредством DIN-рейки.

На рисунке 42 показана последовательность подключения световодов чувствительного элемента к датчику.

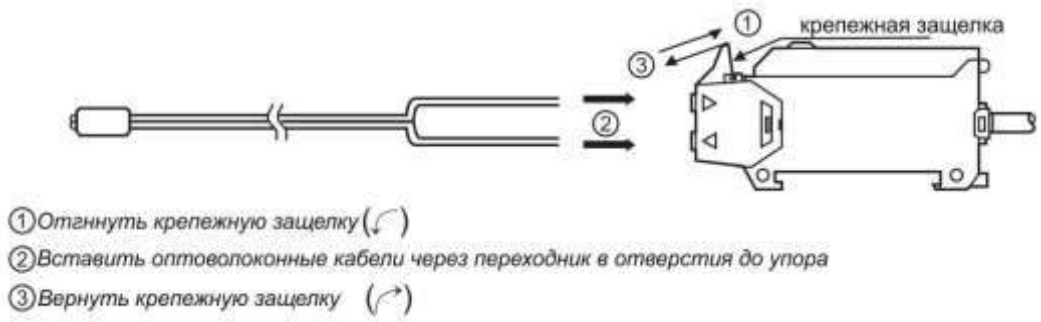


Рисунок 42 – Последовательность подключения световодов чувствительного элемента к датчику

Захват заготовки с приемной платформы выполняет вакуумный присос с эжектором – типа ZH07B. Для гарантированного присоса перемещаемой заготовки, нужно предварительно произвести регулировку приемной платформы по высоте.

Перемещение заготовки осуществляется с помощью поворотного пневматического привода двустороннего действия – типа CDRB1BW50-90, на валу которого закреплена ременная система параллельного переноса.

Скорость поворота вала привода бесступенчато регулируется при помощи пневмодросселей с обратным клапаном, закрепленных на верхней части корпуса пневмопривода.

На рисунке 43 показано подключение пневматических трубок к элементам узла:

– Пневмотрубка 6 мм. длиной 40 см. подключается одним концом к поворотному быстросъемному соединению (1), жестко привязанному к системе захвата вакуумной присоской. Второй конец трубки подключается к выходу эжектора (2);

– Пневмотрубка 6 мм. длиной 5 см. подключается одним концом ко входу эжектора (3). Второй конец трубки подключается к переходнику 6/4 мм.;

– Пневмотрубка 4 мм. подключается одним концом к переходнику 6/4 мм. Второй конец трубки подключается к выходу пневмораспределителя управления вакуумным присосом (4).

– Пневмодроссели привода (5 и 6) трубкой 4 мм. подключаются к выходам пневмораспределителя управления стрелой маятника.

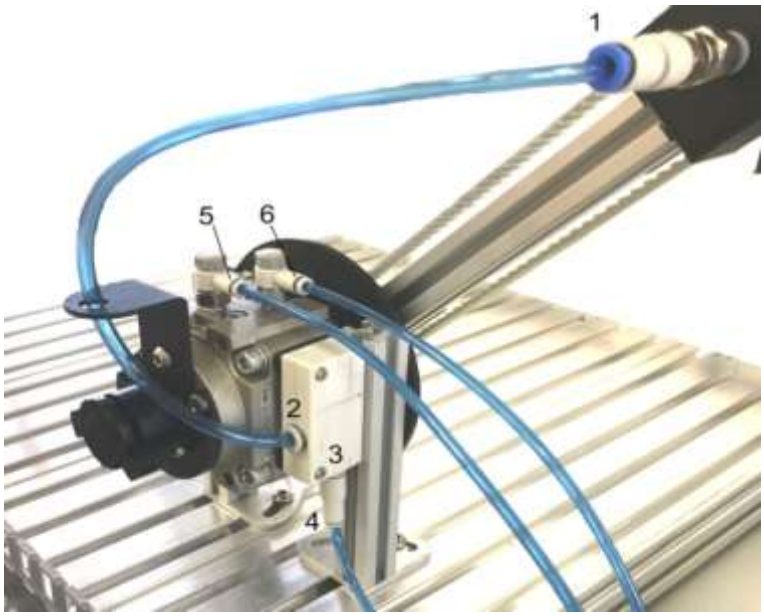


Рисунок 43 – Подключения пневматических трубок к элементам узла

Определение крайних положений штока поворотного пневматического привода осуществляется с помощью 2-проводных магнитных датчиков – типа D-R731. Датчики крепятся на задней части корпуса пневмопривода (Рисунок 44). Для настройки срабатывания датчиков на крайние положения вала необходимо поворачивать датчики вокруг оси вала.



Рисунок 44 – Установка магнитного датчика

Управление поворотным пневмоприводом, вакуумным присосом и устройством сдува заготовки в приемный лоток осуществляется с помощью пневмораспределителей с электроуправлением, типа – SY3120-5LOU-C4-Q, закрепленных на пневмоплите (Рисунок 45).

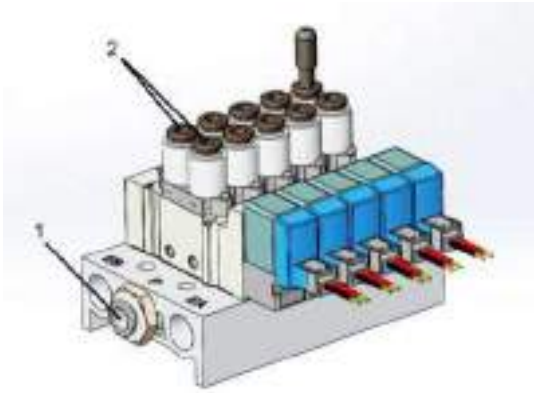


Рисунок 45 – Внешний вид пневмораспределителей,
установленных на пневмоплите

Подача сжатого воздуха от компрессора к пневмораспределителям осуществляется трубкой 6 мм. через быстросъемное соединение (Рисунок 45 – 1).

Подача сжатого воздуха от пневмораспределителей к исполнительным пневмоустройствам осуществляется трубкой диаметром 4 мм. через быстросъемные соединения (Рисунок 45 – 2). При подключении к пневмораспределителю вакуумного присоса, либо к устройства сдува, второе быстросъемное соединение глушится специальной пробкой.

Сверху на каждом пневмораспределителе расположена синяя кнопка ручной активации. Данная кнопка используется при наладке пневмосистемы модуля для определения правильности монтажа и регулировки скорости движения штоков пневмоцилиндров.

Мехатронный модуль также оснащен распределительной коробкой UT-R-02, к которой через разъемы M12 подключаются все датчики и пневмораспределители, а также вспомогательные устройства (кнопка, лампа, переключатель), задействованные в системе автоматизации модуля. В свою очередь распределительная коробка через разъем X1 специальным кабелем подключается к лабораторному модулю LOGO!.

Подробные характеристики элементов физической модели приведены в техническом описании.

Внимание! При подключении компонентов мехатронного модуля к программируемому логическому реле LOGO! Необходимо помнить следующие правила:

– Все датчики, кнопка и переключатель подключаются к соответствующим разъемам распределительной коробки – Входы (I1-I4).

– Двигатель конвейера, стоппер и лампа подключаются к соответствующим разъемам распределительной коробки – Выходы (Q1-Q4).

Порядок выполнения работы

Подключить питание к модулям, необходимым для выполнения лабораторной работы. После подключения питания следует выполнить отладку мехатронного модуля в ручном режиме, для этого:

– Подключить необходимые вспомогательные устройства к распределительной коробке UT-R-02;

– Соединить пульт ручного управления модулем с мехатронным модулем маятникого перекладчика (разъем DB15 распределительной коробки UT-R-02 и разъем DB15 пульта ручного управления);

– Подавая сигналы с тумблеров пульта ручного управления (выходные сигналы) выполнить полный цикл в ручном режиме, убедиться в корректной работе датчиков в процессе работы (входные сигналы пульта ручного управления).

Полный цикл работы представлен в демонстрационном видео (USB накопитель).

При успешном завершении полного цикла составить таблицу подключения устройств к распределительной коробке UT-R-02 (таблица 17).

Таблица 17 – Пример таблицы соответствия входных/выходных сигналов UT-R-02

Адрес	Комментарий
I1	Сигнал с датчика крайнего (начального) положений штока поворотного пневматического привода
….	….
Q1	Управляющая команда на маятниковый перекладчик
….	….

После проведения отладки мехатронного модуля в ручном режиме можно преступать к разработке алгоритма управления мехатронного модуля. В качестве примера будет рассмотрен процесс создания алгоритма управления ленточным конвеъером (демонстрационное видео на USB накопителе).

Разработка алгоритма управления

Разработка алгоритма управления разделяется на следующие этапы:
– Словесное описание полного цикла работы;
– Разработка функциональной схемы процесса;
– Составление таблицы соответствия адресов;
– Составление логических уравнений;
– Составление программы на одном из языков программирования;
– Отладка и проверка проекта на работоспособность.

Задание

На основе знаний, полученных в предыдущих лабораторных работах, выполнить все пункты разработки алгоритма управления самостоятельно и привести их в отчете к лабораторной работе.

2.6 Работа №6. Синтез и анализ алгоритмов управления автоматическими транспортными линиями, состоящих из двух различных мехатронных модулей.

Цель работы

Ознакомиться с принципом работы дискретной системы управления, изучить назначение и технические характеристики датчиков, приобрести навыки разработки алгоритма управления, а также программирования данной системы с применением специализированного программного обеспечения LOGO! Soft Comfort. Выполнить синтез и анализ системы состоящей из двух мехатронных модулей.

Содержание работы

Дома, при подготовке к работе:

– Изучить назначение, технические характеристики логического модуля LOGO!, основные узлы и возможности лабораторного стенда;

– Изучить систему команд и принципы программирования LOGO!;

– Изучить описание модуля ленточного конвейера, ознакомиться с характеристиками всех его элементов;

– Изучить описание модуля стекового накопителя, ознакомиться с характеристиками всех его элементов;

– Изучить описание модуля пневматического манипулятора, ознакомиться с характеристиками всех его элементов;

– Изучить описание модуля маятникового перекладчика, ознакомиться с характеристиками всех его элементов;

– Выполнить синтез системы автоматизации согласно выданному варианту задания;

– Составить программу для ввода в контроллер;

– Ответить на контрольные вопросы.

В лаборатории:

– Закрепить полученные при подготовке к лабораторной работе знания на практике;

– Отладить систему в ручном режиме;

– Сконфигурировать необходимое оборудование в LOGO! Soft Comfort;

– Набрать с панели модуля или на компьютере подготовленную программу, откомпилировать ее и ввести логический модуль LOGO! в работу. Убедиться в правильности работы программы.

Описание работы

В текущей лабораторной работе необходимо выполнить синтез и анализ алгоритма управления автоматической транспортной линией, состоящей из двух мехатронных модулей. Данную лабораторную работу рекомендуется выполнять после успешного выполнения всех предыдущих.

Для реализации согласованной совместной рабоы двух мехатронных модулей необходима передача данных о наличии или отсутствии заготовки в заданной зоне. Для этого при разработке управляющих программ для логических подулей LOGO! в среде LOGO!Soft Comfort необходимо работать в режиме "Network Project" (View - Network Project).

В данном режиме создается требуемое количество новых устройств (Add New Device), соответствующее числу мехатронных модулей, работающих совместно в проекте. Далее им присваиваются соответствующие IP-адреса. Разработка управляющих программ ведется в соответствующих окнах редактора программ (Diagram Editor). Загрузка разработанного проекта осуществляется в каждый логический модуль отдельно.

В зависимости от варианта (выбирается по таблице 18), выполнить синтез системы, который включает в себя: словесное описание полного цикла работы, разработку функциональной схемы процесса, составление таблицы соответствия адресов, составление логических уравнений; составление программы на одном из языков программирования, отладку и проверку проекта на работоспособность.

Таблица 18 – Таблица вариантов

Номер бригады	1			2			3		
Член бригады	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Вариант	1	3	2	2	3	1	2	1	3

Вариант 1

Для выполнения задания текущего варианта необходимы 2 модуля «Логический модуль LOGO!», пульт ручного управления мехатронным модулем, мехатронный модуль ленточного конвейера, мехатронный модуль стекового накопителя (Рисунок 46). Собрать транспортировочную линию, отладить ее в ручном режиме, выполнить синтез и анализ алгоритма управления, убедиться в работоспособности системы. Сделать отчет о проделанной работе.

Вариант 2

Для выполнения задания текущего варианта необходимы 2 модуля «Логический модуль LOGO!», пульт ручного управления мехатронным модулем, мехатронный модуль ленточного конвейера, мехатронный модуль пневматического манипулятора (Рисунок 47). Собрать транспортировочную линию, отладить ее в

ручном режиме, выполнить синтез и анализ алгоритма управления, убедиться в работоспособности системы. Сделать отчет о проделанной работе.

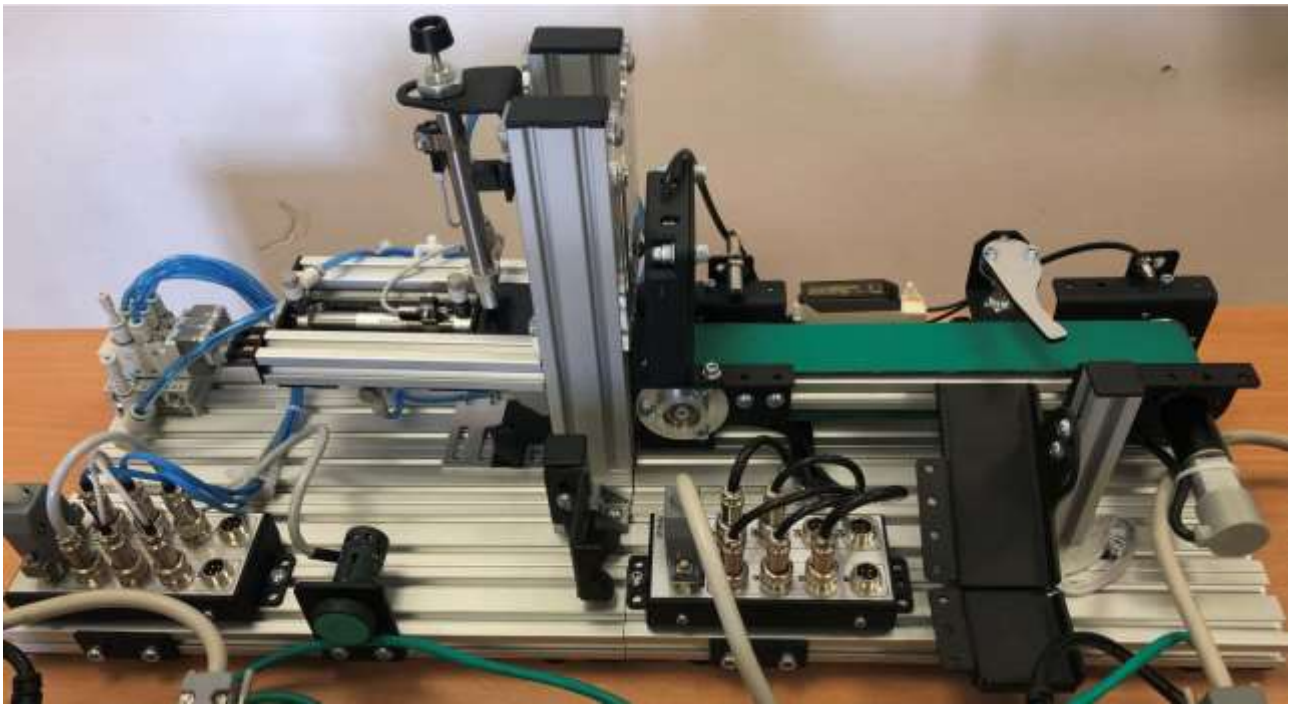


Рисунок 46 – Автоматическая линия «Стековый накопитель – ленточный конвейер»

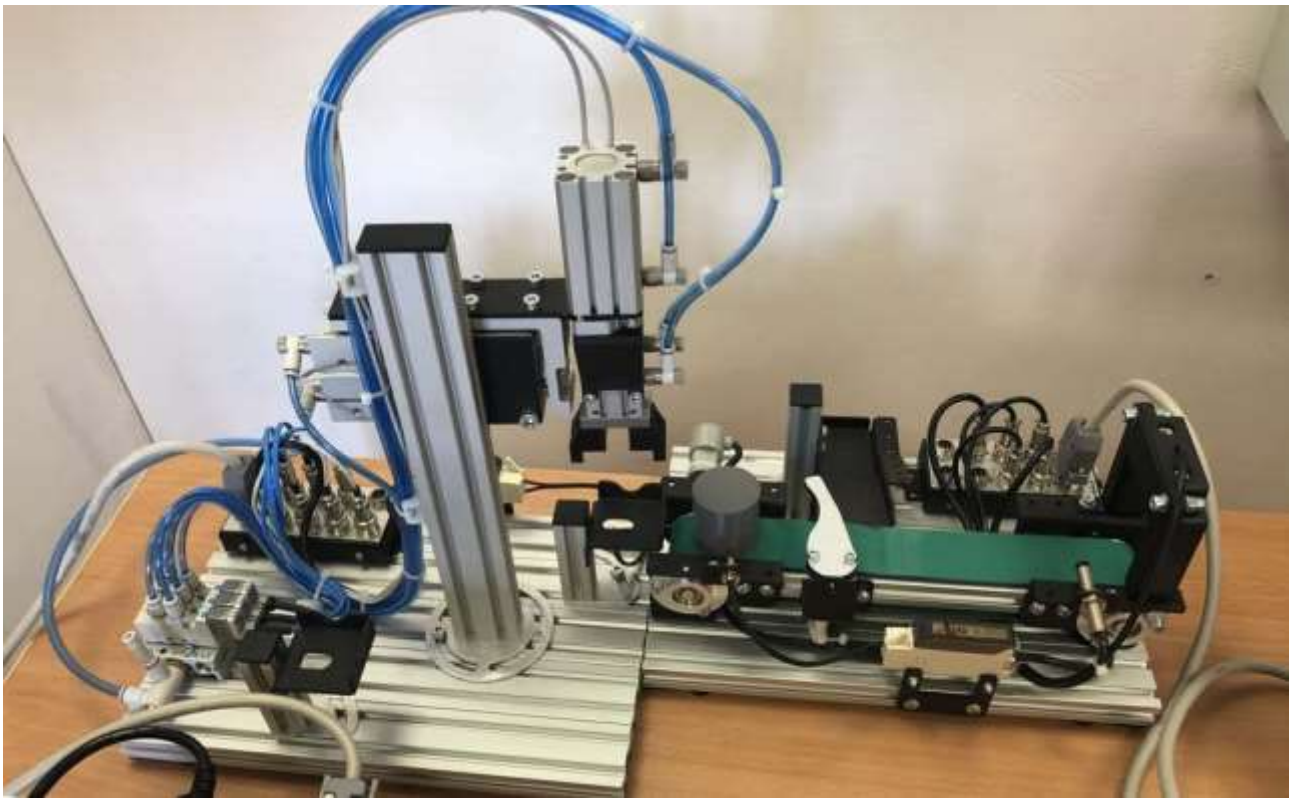


Рисунок 47 – Автоматическая линия «Пневматический манипулятор – ленточный конвейер»

Вариант 3

Для выполнения задания текущего варианта необходимы 2 модуля «Логический модуль LOGO!», пульта ручного управления мехатронным модулем, мехатронный модуль пневматического манипулятора, мехатронный модуль маятникового перекладчика (Рисунок 48). Собрать транспортировочную линию, отладить ее в ручном режиме, выполнить синтез и анализ алгоритма управления, убедиться в работоспособности системы. Сделать отчет о проделанной работе.

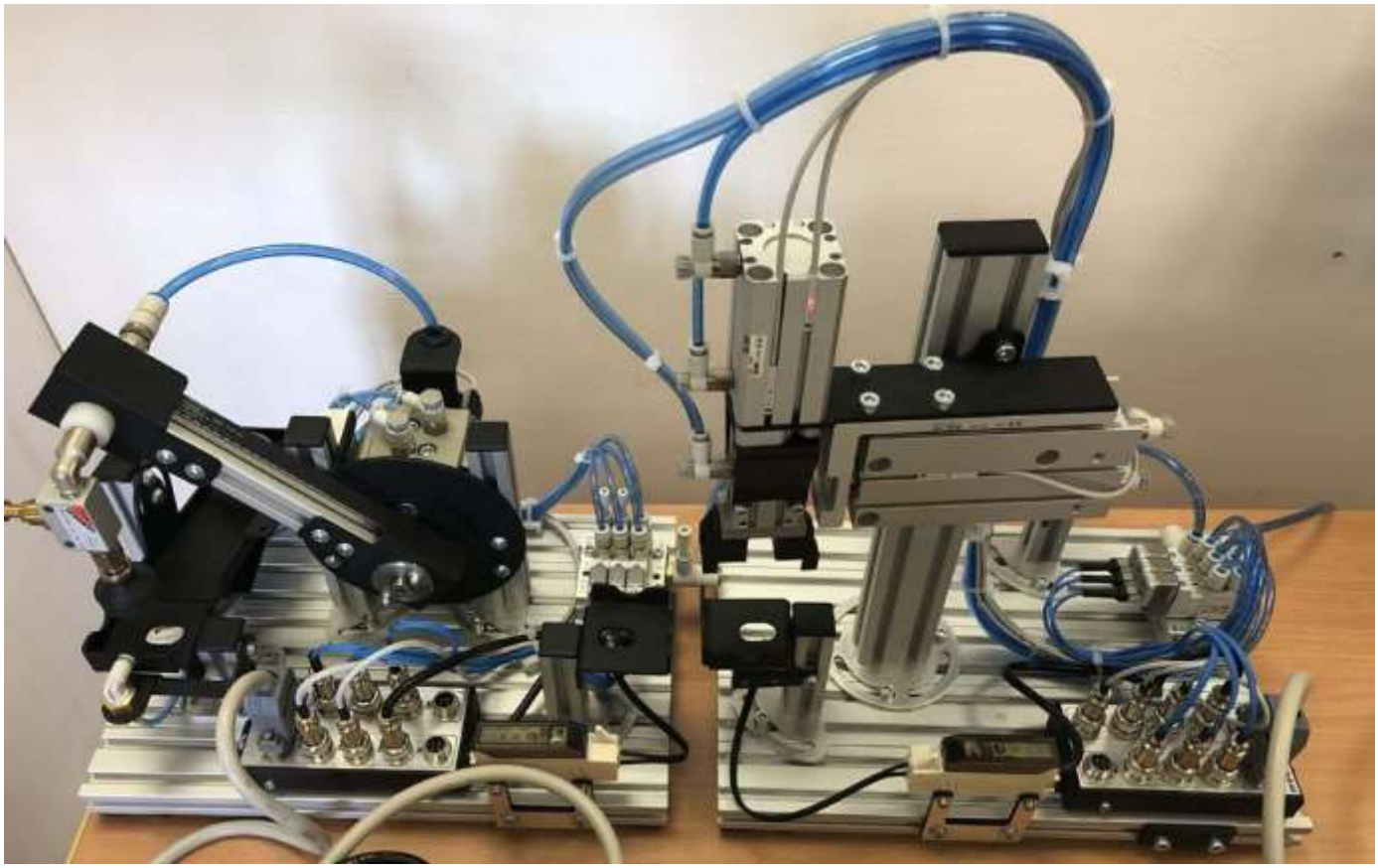


Рисунок 48 – Автоматическая линия «Пневматический манипулятор – ленточный конвейер»

2.7 Работа №7. Синтез и анализ алгоритмов управления автоматической транспортной линией, состоящей из четырех мехатронных модулей.

Цель работы

Ознакомиться с принципом работы дискретной системы управления, изучить назначение и технические характеристики датчиков, приобрести навыки разработки алгоритма управления, а также программирования данной системы с применением специализированного программного обеспечения LOGO! Soft Comfort. Выполнить синтез и анализ автоматической транспортной линии состоящей из четырех мехатронных модулей.

Содержание работы

Дома, при подготовке к работе:

– Изучить назначение, технические характеристики логического модуля LOGO!, основные узлы и возможности лабораторного стенда;

– Изучить систему команд и принципы программирования LOGO!;

– Изучить описание модуля ленточного конвейера, ознакомиться с характеристиками всех его элементов;

– Изучить описание модуля стекового накопителя, ознакомиться с характеристиками всех его элементов;

– Изучить описание модуля пневматического манипулятора, ознакомиться с характеристиками всех его элементов;

– Изучить описание модуля маятникового перекладчика, ознакомиться с характеристиками всех его элементов;

– Выполнить синтез системы автоматизации согласно выданному варианту задания;

– Составить программу для ввода в контроллер;

– Ответить на контрольные вопросы.

В лаборатории:

– Закрепить полученные при подготовке к лабораторной работе знания на практике;

– Отладить систему в ручном режиме;

– Сконфигурировать необходимое оборудование в LOGO! Soft Comfort;

– Набрать с панели модуля или на компьютере подготовленную программу, откомпилировать ее и ввести логический модуль LOGO! в работу. Убедиться в правильности работы программы.

Описание работы

В текущей лабораторной работе необходимо выполнить синтез и анализ алгоритма управления автоматической транспортной линией, состоящей из четырех мехатронных модулей (Рисунок 49). Данную лабораторную работу следует выполнять после успешного выполнения всех предыдущих.

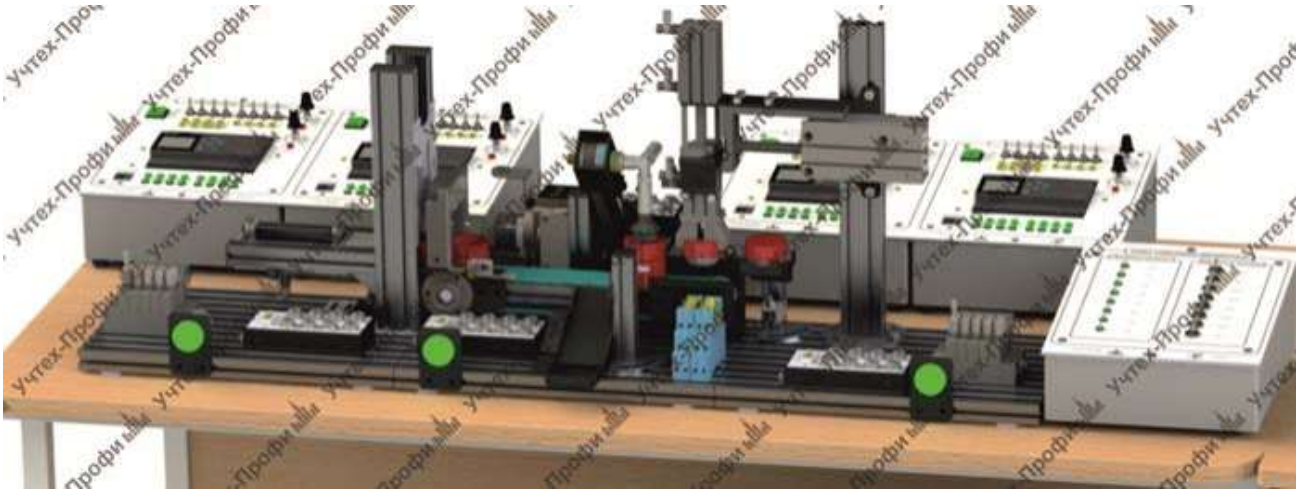


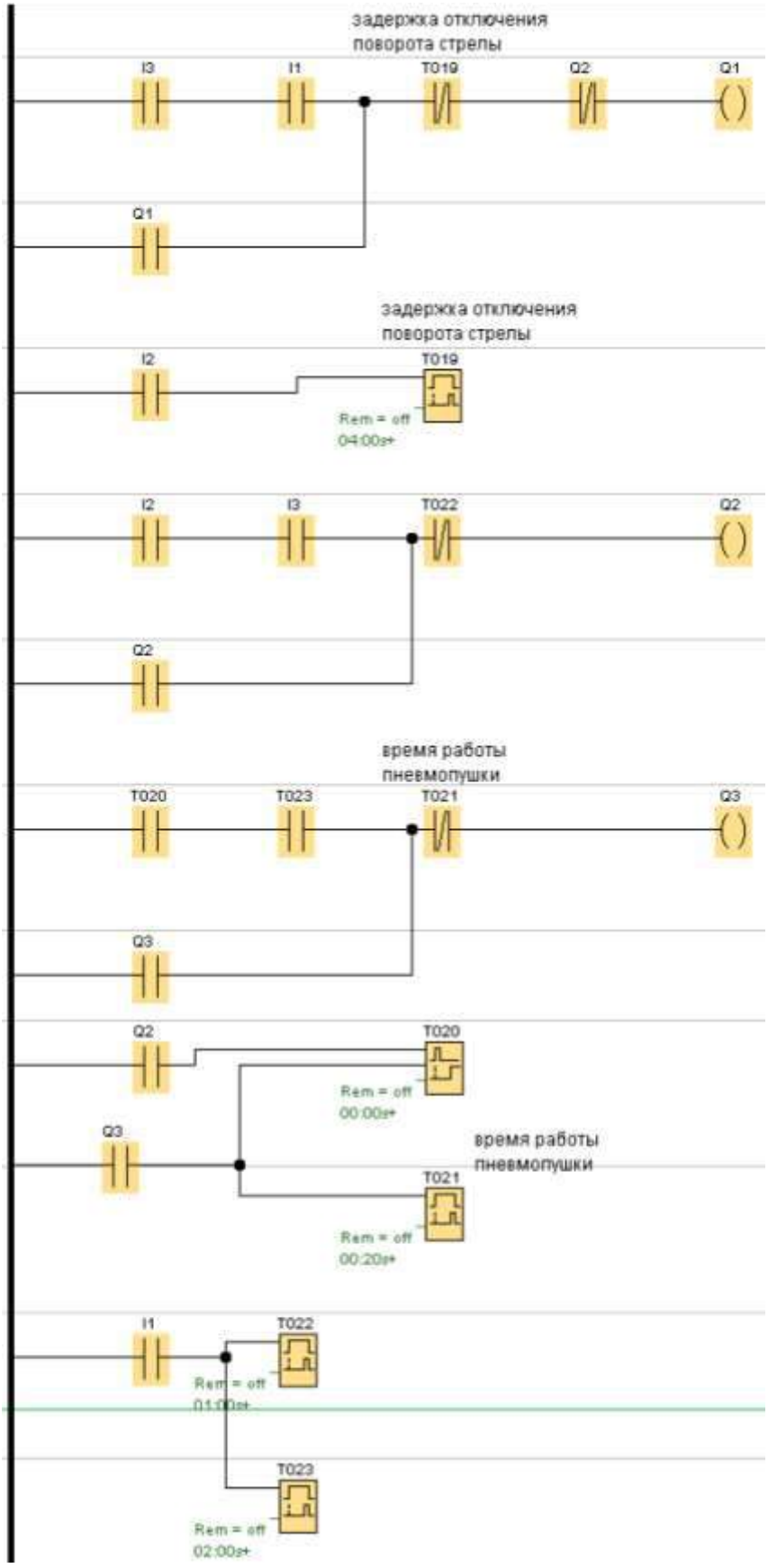
Рисунок 49 – Автоматическая транспортная линия

Задание

1. Выполнить стыковку и отладку мехатронных модулей для совместной работы в ручном режиме.
2. Выполнить синтез системы автоматизации, который включает в себя: словесное описание полного цикла работы, разработку функциональной схемы процесса, составление таблицы соответствия адресов, составление логических уравнений; составление программы на одном из языков программирования, отладку и проверку проекта на работоспособность.
3. Написать отчет о проделанной работе

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Пример программы работы маятникового перекладчика



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.В.02 МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Направление -
15.03.06 Мехатроника и робототехника
Профиль -
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____ *(подпись)*	Председатель _____ *(подпись)*
Волков Е.Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

Оглавление

Введение 4
Глава 1.
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ 6
1.1. Принципы построения и структура мехатронных систем 6
1.2. Мехатронные принципы проектирования 13
Глава 2.
МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И МОДУЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН 19
2.1. Мехатронные модули с рекуперацией энергии для возвратно-поступательных, возвратно-вращательных и шаговых приводов 25
2.2. Мехатронные модули дозирования жидкостей и сыпучих материалов 33
2.3. Мехатронные мультиголовочные дозаторы 54
Глава 3.
МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ 69
3.1. Особенности автоматизированного производства в приборостроении 69
3.2. Современные технико-экономические требования в приборостроении 71
3.3. Применение мехатронных систем в нанотехнологиях 74
3.4. Мехатронная система экстракорпоральной литотрипсии 84
3.5. Ультразвуковая диагностика 90
3.6. Мехатронный аппарат искусственного кровообращения 116
Библиографический список 130

Введение

В 1985 г. в Японии издана книга «Мехатроника», в которой введено это понятие как новое направление науки и техники в машиностроении. В 1988 г. издание переведено на русский язык и в предисловии к переводу дано определение мехатроники как комплекса средств и принципов механики, электроники и информатики, синтез существующих технологий, эффективно используемых для достижения конкретной цели [1].

В государственном образовательном стандарте РФ по направлению «Мехатроника и робототехника» [2] приведено следующее определение: мехатроника – это область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающими проектирование и производство качественно новых модулей, систем и машин с интеллектуальным управлением их функциональными движениями.

Японские авторы не дали четкого определения мехатроники, считая что синтез электроники и механики позволяет создавать машины нового типа, которые можно назвать мехатронными устройствами. При этом они четко определили их три основные составляющие: исполнительные органы, выполняющие функциональные технологические задачи, измерительно-информационная система, с помощью которой выполняется сбор необходимой информации о ходе технологического процесса, режимах работы приводов и внешней среде (при необходимости). Третья составляющая объединяет элементы обработки информации и базируется на вычислительной технике.

Кроме того, в книге сформулировали следующие положения:

• Развитие микроэлектроники определяет прогресс мехатроники.

• Уменьшение массогабаритных характеристик микропроцессорных систем позволяет легко их встраивать в машины и отдельные механизмы.

• Существует положительное взаимовлияние мехатроники и микроэлектроники на их развитие.

• Современное содержание машин можно разделить на массовое (от понятия «масса»), энергетическое и информационное, и при проектирова-

нии мехатронных устройств в системах уравнений должны учитываться зависимости, существующие между информацией, массой и энергией.

• Нельзя добиться прогресса в мехатронике, делая упор лишь на достижения микроэлектроники. Если не будет прогресса в разработке исполнительных механизмов, усилителей и т. д., то нельзя рассчитывать на раскрытие всех возможностей микроэлектроники.

• Развитие мехатроники требует обеспечения заданной точности времени, актуальное в то время как в механике, так и в электронике.

Несмотря на почти 40-летний этап развития мехатроники, следует согласиться с точкой зрения, приведенной в работе [3], что мехатроника является в значительной степени уделом специалистов-практиков и ее бурный прогресс в первую очередь обусловлен их технологическими знаниями и умениями, подкрепленными инженерной интуицией.

Авторы данного учебного пособия ставят своей целью не только познакомить студентов и других читателей с различными примерами применения мехатронных устройств и систем, но и дать методологические основы их создания. В большинстве примеров отражены научно-технические интересы авторов, что наряду с ограниченным объемом учебного издания, не позволило более широко рассмотреть варианты применения мехатронных систем. Авторы будут благодарны читателям за критические замечания и пожелания.

Глава 1.
ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

1.1. Принципы построения и структура мехатронных систем

Мехатронные системы, как новое направление в развитии технических систем, обладают определенными признаками и свойствами, которые отличают их от технических систем с традиционным построением и структурой.

В принципе для любых сложных систем признаки и свойства являются важнейшими информационными блоками, характеризующими и отличающими данную систему от других. Для понимания различия между признаками и свойствами рассмотрим следующий пример. Допустим, мы имеем некий неизвестный объект и хотим найти отличия от известных объектов или общее у рассматриваемого объекта с другими. При этом случае мы говорим о признаках отличительных или общих с другими известными объектами. В случае, когда нам известен объект и его функции, то мы анализируем его свойства, которые проявляются при функционировании объекта. *Признак* – это описание проявлений сторон неизвестного объекта, по которым можно отличить его от других или объединить с другими объектами. Совокупность признаков позволяет идентифицировать данный объект и определить его место среди других объектов. *Свойство* – это то, что проявляется при функционировании рассматриваемого объекта при его взаимодействии с другими объектами. Свойства технической системы можно количественно описать ее параметрами и характеристиками. *Параметры* – это числовые значения величин, характеризующие свойства объекта или системы. *Технические характеристики* – описание свойств объекта.

Проще всего понятия признака и свойств формируются в медицине. Так, врач по признакам болезненного состояния пациента определяет болезнь. Например, признаками начинающегося гриппа является головная боль, слабость, озноб, повышенная температура, ощущение сухости в носу и т. д. Объективные параметры признаков – температура, повышенная скорость оседания эритроцитов. Важно отметить, что для такой сложной сис-

темы, как человек, эти признаки могут быть в наличии не все одновременно, а присутствовать только некоторые из них. К свойствам гриппа можно отнести заражение и возможные осложнения. Характеристиками протекания болезни являются время выздоровления, изменение состояния или график зависимости температуры пациента от времени.

В сложной технической системе, в том числе и мехатронной, ее функционирование возможно только при наличии материального объекта и информационных потоков. Необходимо отметить, что функционирование осуществляется только при наличии третьего компонента – энергетического. Для технологической системы материальные потоки – это объекты обработки и инструменты (рис. 1.1).

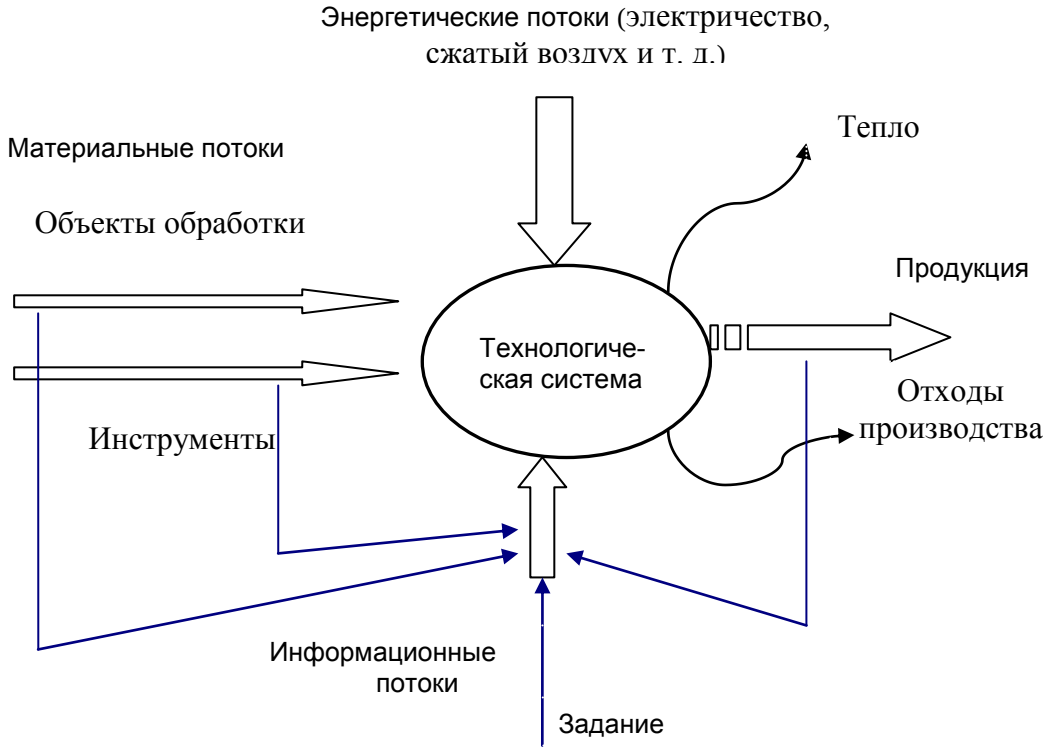


Рис. 1.1. Потоки в технологической системе

Подвод энергии извне позволяет системе функционировать: например, происходит механическое движение или обмен информацией. Включив компьютер, т. е. подав энергию, можно заставить функционировать это устройство. В мехатронной системе функционирование также невозможно

без подвода энергии извне. Функционирование системы – это взаимодействие трех потоков материального, информационного и энергетического.

Взаимодействие материальных, энергетических и информационных потоков осуществляется при помощи технических материальных компонентов автоматических систем (электронных блоков, электромагнитных реле, материальных носителей компьютерных программ и т. д.), в противном случае речь может идти только о виртуальных процессах, о моделировании реальности.

Анализ признаков мехатронной системы лучше всего начинать со структурно-морфологических признаков, т. е. признаков, отличающих структуру и строение элементов мехатронной системы от другой технической системы, построенной по другим принципам.

Структурно-морфологические признаки мехатронной системы.

В качестве структурно-морфологических признаков, которые отличают мехатронную систему от традиционной, можно считать:

1) интеграцию (структурно-функциональную и структурно-компоновочную) подсистем: механической, электромеханической, микропроцессорной и информационно-измерительной при программном обеспечении и управлении всей системы;

2) как правило, наличие большого количества элементов обратных связей в системе управления, т. е. наличие большого числа датчиков, дающих информацию о разнообразных параметрах состояния системы;

3) иерархическую структуру системы управления, т. е. возможность внешнего управления через различные средства электронной связи (в том числе через Интернет),

4) модульность всех элементов системы и высокую степень унификации (в том числе возможность наращивания программных модулей);

5) укороченные кинематические цепи механической и электромеханической подсистемы, а также использование параллельных кинематических цепей;

6) использование высокоточных механических передач в механической подсистеме;

7) применение разнообразных видов преобразователей энергии, основанных на различных физических эффектах;

8) использование новых материалов с повышенными механическими и электромеханическими характеристиками;

9) превышение необходимого числа степеней подвижности в системе, характеризуемое наличием дополнительных приводов;

10) использование электронных миниатюрных компонентов со сверхплотным монтажом;

11) наличие высокоинформативного человеко-машиного интерфейса;

12) возможное использование бионических принципов построения системы.

Структурно-функциональная интеграция это уменьшение структурных блоков, в основном в информационно-управляющей подсистеме. Например, вместо отдельных датчиков скорости (тахогенератор) и датчиков угла поворота (потенциометр) или перемещения в мехатронных системах применяют фотоимпульсные датчики, с помощью которых получают информацию о скорости и перемещении в двоичной кодовой форме. Это решение позволяет убрать из системы АЦП и согласующие электронные устройства (интерфейсы). Следует отметить, что такое решение не всегда оправдано.

Структурно-компоновочная интеграция это группирование в одном конструктивном модуле элементов разной физической сущности. Самые эффективные решения состоят в объединении в единый сенсорный модуль механических узлов (валы, подшипники, направляющие), кодировочных дисков, фотоэлементов и микропроцессоров, от которых сигналы обратной связи идут в контроллер по стандартному протоколу в двоичном коде.

Функциональные свойства мехатронных систем (синергетические эффекты). При работе мехатронной системы проявляются ее функциональные свойства, в которых обнаруживаются синергетические эффекты. Термин *синергетика* заимствовал из биологии и медицины (от греч. synergos – вместе действующий) – совместное и однородное функционирование элементов и систем; при комбинированном действии которых суммарный эффект превышает действие каждого в отдельности. Иными словами, соединение в единую систему указанных выше элементов дает больший эффект, чем использовании всех этих элементов поодиночке. Приведем пример. Что нового дает совмещение в единую

систему автомашины, предназначенной для перевозки тяжелых грузов, и подъемного крана, предназначенного для подъема тяжелых грузов? Автокран имеет новое качество – мобильность производства подъемно-транспортных работ. Аналогично мехатронные системы должны давать новое качество. Это качество мехатронных систем можно сформулировать следующим образом:

1. Повышение доли функций системы, приходящихся на систему управления, и уменьшение доли функций, приходящихся на механическую подсистему (например, коррекция положения резца при его износе).

2. Увеличение количества функций, выполняемых системой за счет программного обеспечения.

3. Автоматизация переналадки системы.

4. Повышение надежности системы в целом за счет сокращения доли механических подсистем, изменения программным путем функций механической и электромеханической подсистем, а также за счет программной автоматической защиты приводов от перегрузок, мониторинга состояния всех элементов системы во время работы.

5. Автоматизация технической диагностики и мониторинг всех подсистем во время работы.

6. Повышение интеллектуальности программного обеспечения, внедрение искусственного интеллекта.

7. Относительно низкая стоимость из-за высокой степени интеграции, унификации и стандартизации всех компонентов мехатронных систем.

8. Высокое качество исполнения сложных и точных движений вследствие применения методов адаптивного и интеллектуального управления.

9. Высокая помехозащищенность за счет модульности подсистем.

10. Компактность мехатронных модулей вследствие миниатюризации и укорочения кинематических цепей.

11. Повышение удельной мощности и улучшение динамических характеристик машин вследствие исключения многоступенчатого преобразования энергии и информации.

12. Возможность быстрого комплектования мехатронных систем функциональными модулями, допускающих простую реконфигурацию в зависимости от технических требований.

Главная методологическая идея мехатроники как науки и техники состоит в системном сочетании ранее обособленных научно-технических областей (механика, микроэлектроника, электротехника, компьютерное управление, сенсорика и информационные технологии, (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Составляющие мехатроники как научно-технического направления

Под мехатронными объектами понимают синергетическое объединение исполнительных устройств с электронными, электромеханическими, компьютерными и программными компонентами. Для мехатронных объектов характерно иерархическое построение. Все мехатронные объекты можно разделить на следующие группы (рис. 1.3): мехатронные узлы, мехатронные модули, мехатронные агрегаты, мехатронные системы [5,6].

Мехатронный узел – это неунифицированная сборочная единица, содержащая некоторые компоненты мехатронного объекта (например, шариковинтовая передача с датчиками положения и усилия). *Мехатронный модуль* – основная единица мехатронной системы, унифицированный мехатронный объект, служащий для реализации одной из функций мехатронной системы (например, мехатронный модуль подачи инструмента, моторшпиндель). (По определению *модуль* – это унифицированная функциональная часть машины, конструктивно оформленная как самостоятельное изделие.) Мехатронные модули как унифицированные объекты имеют нормализованный ряд типоразмеров, характеризуемый определенными

мощностями, габаритами, типом движения (например, поступательного или вращательного), классом точности и т. д. *Мехатронный агрегат* – это совокупность мехатронных модулей, предназначенная для выполнения группы однотипных функций (например, многокоординатная измерительная машина, а также многокоординатный столик микроскопа, если он состоит из модулей).

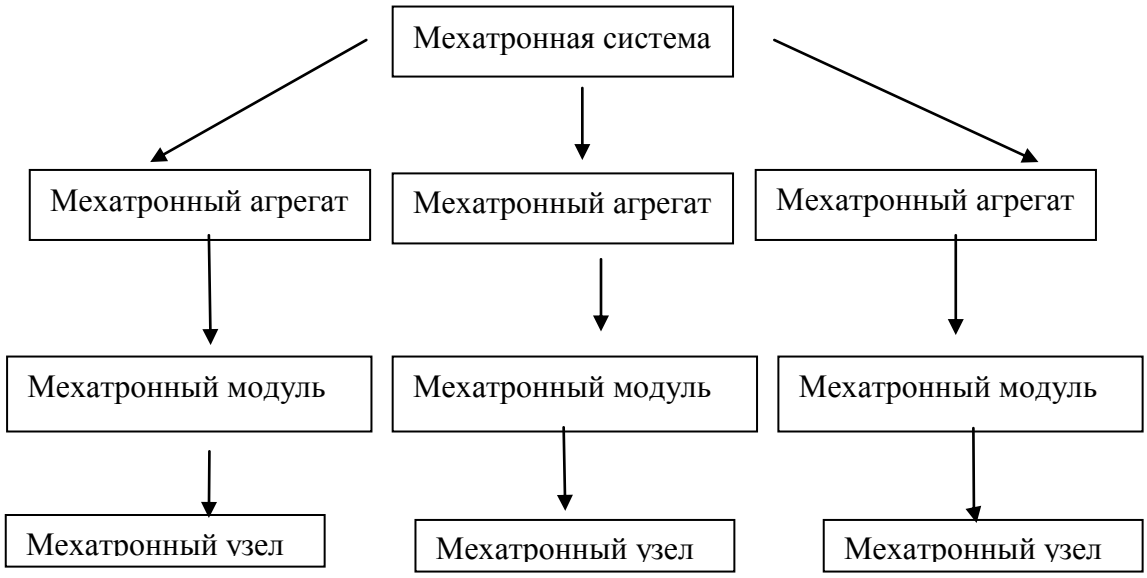


Рис. 1.3. Иерархия мехатронных объектов

Мехатронная система – целевое упорядоченное множество взаимосвязанных мехатронных агрегатов, функционирующих во времени и взаимодействующих с внешней средой. Мехатронные системы могут состоять из мехатронных модулей (минуя мехатронные агрегаты). Примерами мехатронных систем служат гибкие производственные системы (ГПС), системы мониторинга и искусственной вентиляции легких (ИВЛ) в отделении реанимации, а также современные автомобили. Так, «Мерседес SW220» представляет собой мехатронную систему, состоящую из 40 управляющих блоков, она включает в себя несколько мехатронных агрегатов (подсистема управления двигателем, коробкой передач, подвеской, и т. д.), а сами мехатронные агрегаты – мехатронные модули (впрыска, управления замком, дворников и т. д.).

В приборостроении в настоящее время получил распространение термин *мехатронный прибор* – это мехатронный агрегат или мехатронный

модуль, предназначенный для получения и преобразования информации о механических величинах. Термин *мехатронный прибор* означает мехатронный объект, осуществляющий какое-либо измерение или комплекс измерений механических величин.

Мехатронным аппаратом можно назвать мехатронный объект, который осуществляет физическое воздействие на внешнюю среду (например, аппарат искусственного кровообращения, автоматический спектрометр, где нужно предварительно совершить подготовительные операции с образцом, прежде чем определить его состав).

Исходя из положений теории сложных систем, выведем следующее определение мехатроники: *мехатроника – это область науки и техники, посвященная анализу и синтезу мехатронных объектов.*

1.2. Мехатронные принципы проектирования

Для создания новых промышленных изделий или нового технологического оборудования существует два подхода: алгоритмический и интуитивный.

При алгоритмическом проектировании проектировщик или конструктор имеет в своем распоряжении набор известных технических решений и покупных изделий, порядок расчета и принятия решений, алгоритм проектирования, позволяющий в заданный промежуток времени специалисту средней квалификации спроектировать требуемое изделие. Разделение труда, связанное с выпуском широко используемых устройств различного назначения, приводит к уменьшению времени и стоимости проектирования и, соответственно, себестоимости продукции. Алгоритмическое проектирование применяется, как правило, при проектировании единичных изделий. Такое проектирование осуществляется для выполнения одного конкретного заказа с учетом заданных технических требований в заданный промежуток времени.

Когда проектирование имеет целью получить новое изделие, не имеющее аналогов, а создание новых изделий носит коммерческий характер, т. е. изделие предназначено для продажи в больших количествах широкому кругу покупателей, то применяется интуитивный подход к проектированию. При этом минимизируется стоимость изделия в результате по-

иска новых конструктивных и технологических решений с одновременным расширением функциональных возможностей. Тогда время проектирования увеличивается, а большой экономический эффект достигается за счет массового выпуска и продажи нового изделия.

Интуитивный подход требует более высокой квалификации проектировщика, имеющего широкий кругозор и достаточно большое информационное обеспечение.

С точки зрения развития техники движение вперед обеспечивает интуитивное проектирование. Как правило, интуитивное проектирование имеет успех у инженеров, умеющих работать в пограничных областях науки и техники, что в настоящее время соответствует мехатронным принципам проектирования.

В мехатронике наблюдается сочетание классической механики, электроники, микропроцессорных систем управления, технических средств измерения, преобразования и передачи информации. Это позволяет создавать интеллектуальные изделия, обеспечивающие выполнение рабочих функций в сочетании с мониторингом внешнего мира, внутреннего состояния объекта, принятия решений из совокупного анализа текущей ситуации и способные взаимодействовать с системами управления высшего уровня, т. е. способные встраиваться в современные системы автоматизации.

Мехатронные принципы проектирования являются дальнейшим развитием интуитивного проектирования, но могут использоваться и при алгоритмическом проектировании.

Дальнейшее развитие мехатроники позволяет утверждать, что современное технологическое оборудование может считаться мехатронным в том случае, когда оно полностью или частично обладает следующими свойствами:

1. Цифровое задание параметров и режимов работы оборудования, обеспечивающее отсутствие ручных настроек в процессе эксплуатации.

2. Мониторинг технологического процесса и архивирование его результатов.

3. Диагностика основных узлов и элементов, определяющих работоспособность оборудования, позволяющая избежать убытков от незапланированных простоев при внезапных отказах.

4. Модульный принцип построения, позволяющий в наименьший промежуток времени обеспечить их замену.

5. Современный человеко-машинный интерфейс.

6. Телеметрическая связь со службами сервиса.

7. Интерфейс с системами управления верхнего уровня.

8. Более широкое использование сервоприводов.

9. Статистическое управление, обеспечивающее стабильность процессов и режимов работы.

10. Автоматическое согласование режимов работы с предыдущим и последующим оборудованием в автоматизированных поточных линиях.

11. Лучшие массогабаритные характеристики и меньшее энергопотребление по сравнению с аналогичным оборудованием равной производительности.

12. Учет выпускаемой продукции и времени работы оборудования при сдаче его в аренду.

13. Объединение всех элементов оборудования в одном конструктивном блоке.

В некоторых случаях налицо синергетический эффект, определяемый или новыми технологическими процессами, или существенным улучшением отдельных характеристик.

К явным преимуществам мехатронного технологического оборудования следует отнести:

- встраиваемость в автоматизированные технологические линии;
- более высокую фактическую производительность;
- уменьшение негативного влияния человеческого фактора на работу оборудования;
- уменьшение удельной стоимости изделия на единицу продукции;
- гибкость, связанную с расширением и оперативным изменением ассортимента продукции.

На рис. 1.4 представлена схема системы операто – ртехнологическое оборудование – технологический процесс. Рассматривая развитие машиностроения и различных видов технологического оборудования на протяжении многих десятилетий, мы видим, что структура этого комплекса остается без изменений, но существенно поменялись функции отдельных со-

ставляющих и произошло качественное изменение технологических процессов. Прежде всего, в большинстве случаев решена проблема формообразования для деталей и рабочих органов машин с одновременным использованием разнообразных новых материалов и покрытий. Как было показано ранее, компьютерные технологии позволяют по-новому организовывать технологические процессы.

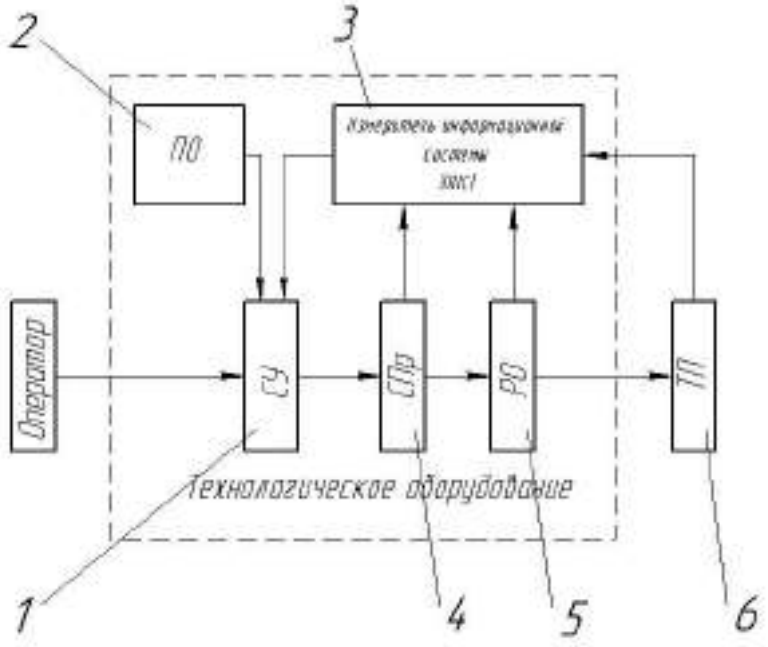


Рис. 1.4. Автоматизированная система оператор – технологическое оборудование – технологический процесс: 1 – система управления; 2 – программное обеспечение; 3 – измерительно-информационная система; 4 – система приводов; 5 – рабочие органы; 6 – технологический процесс

Успех в создании мехатронного технологического оборудования чаще всего предопределен разработкой принципиально новых технологических процессов. Она обеспечивается также успехами измерительной техники. Появление на рынке разнообразных мехатронных модулей позволяет решать задачи мониторинга и диагностики оборудования, ускоряя при этом процесс проектирования.

В настоящее время в российской промышленности и обществе можно выделить три проблемы:

1. Нехватка трудовых ресурсов.

2. Снижение энергопотребления технологическим оборудованием.

3. Невысокая конкурентоспособность российских изделий на мировом рынке и слабая защита от возможного копирования.

Нехватка трудовых ресурсов не может быть решена в течение ближайших десятилетий за счет повышения рождаемости. Единственный путь – повышение производительности технологического оборудования. Речь идет о повышении не только теоретической, но и фактической производительности, что может быть достигнуто в результате разработки рационального человеко-машинного интерфейса, отдаляющего оператора от объекта труда и позволяющего увеличить количество единиц одновременно обслуживаемого оборудования. Диагностика работоспособности узлов оборудования резко снижает вероятность случайных отказов, а модульный принцип построения обеспечивает оперативный ремонт.

Энергосбережение при разработке технологического оборудования осуществляется за счет применения менее энергоемких технологий, анализа режимов работы в целях выявления возможности использования разнообразных рекуперативных приводов, в результате снижения массы подвижных деталей и моментов инерции вращающихся деталей.

Повышенная конкурентоспособность мехатронного оборудования по сравнению с традиционным оборудованием обеспечивается, прежде всего, самой идеологией проектирования, а исключение возможности быстрого копирования – за счет разработки специализированных систем управления, размещенных в едином конструктивном исполнении со всеми остальными составными частями оборудования.

На рис. 1.5 представлена последовательность принятия решений при проектировании мехатронного технологического оборудования. На первом этапе задаются технологические задачи и определяются цели проектирования. На втором этапе разрабатывается технологический процесс. На третьем этапе производится моделирование процесса, определение его численных характеристик и допустимых предельных отклонений, поиск и выбор особых или критических точек. На четвертом этапе разрабатываются требования к системам: измерительно-информационной (ИИС), приводов (СП), управления (СУ) и к программному обеспечению (ПО). Пятый этап связан с разработкой перечисленных выше систем и программного обеспечения. Кроме того, на этом этапе разрабатываются и отдельные специ-

альные модули, в том числе и мехатронные, предназначенные только для данного конкретного оборудования. На последнем этапе производится конструктивное оформление изделия в соответствии со стандартными нормами.

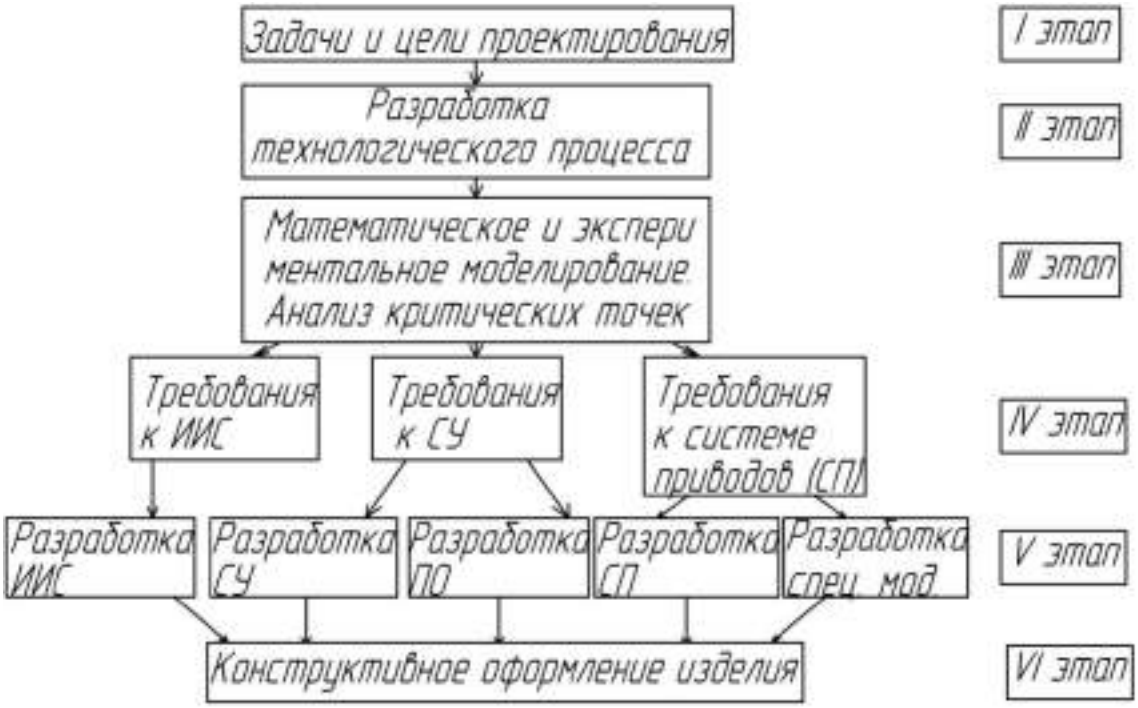


Рис. 1.5. Этапы проектирования мехатронного оборудования

Следует отметить, что возможны и другие точки зрения на принципы проектирования и любые разумные подходы к этому процессу в сочетании с задачами и целями проектирования, опирающиеся на весь арсенал современных научно-технических достижений и позволяющие создать высокоэффективное технологическое оборудование.

Глава 2.
МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И МОДУЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

2.1. Мехатронные модули с рекуперацией энергии для возвратно-поступательных, возвратно-вращательных и шаговых приводов

Наиболее простым механизмом для возвратно-вращательного движения является четырехзвенный механизм с непрерывно вращающимся кривошипом и периодическим качанием коромысла.

Для возвратно-поступательных перемещений может использоваться кривошипно-ползунный механизм. И в первом и во втором случаях невозможно обеспечить выстой в крайних положениях выходного звена.

Применение кулачковых механизмов разнообразного конструктивного исполнения позволяет решить задачу выстоя выходного звена в крайних положениях, однако при этом еще остаются следующие недостатки, свойственные и рычажным механизмам.

1) динамические нагрузки, определяемые переменными первыми передаточными функциями;

2) значительные затраты энергии на разгон и торможение;

3) совпадение энергетического и информационного каналов, что при износе шарниров и рабочих поверхностей кулачков приводит к искажению заданных законов движения.

В цикловых механизмах для шаговых перемещений, при использовании двигателей с непрерывным вращением, чаще всего используется двухэтапное преобразование движений. На первом этапе вращательное движение преобразуется в возвратно-вращательное или возвратно-поступательное движение.

С этой целью могут использоваться рычажно-шарнирные, кулисные, кулачковые и рычажно-ползунные механизмы.

В последнее время в связи с широким использованием гидро- и пневмоприводов применяются цикловые механизмы, построенные с использованием гидравлических и пневматических цилиндров и храповых механизмов.

Для прямолинейного пошагового перемещения конвейерная система выполнена в виде развернутого храпового колеса, а упругие толкатели устанавливаются на выходном штоке пневмо- или гидроцилиндра.

Возможно использование и кулисных механизмов, где пневмо- или гидроцилиндр выполняет функцию кулисы.

В настоящее время немецкая фирма «Фесто» выпускает шаговые поворотные пневмодвигатели. В данном двигателе последовательно соединены неполноповоротный пневматический привод и муфта свободного хода. Минимальный угловой шаг 0,4º, максимальный – 181º.

Цикловые механизмы для возвратно-вращательных и возвратно-поступательных движений, как правило, осуществляют различные перемещения рабочих органов технологического оборудования, непосредственно не связанные с выполнением рабочего процесса. К ним относятся:

а) установочные перемещения инструмента и обрабатываемого изделия относительно некоторых баз;

б) транспортирование заготовки с позиции загрузки на позицию обработки и готовых изделий с позиции обработки на позицию разгрузки;

в) перемещения, связанные со сменой инструмента в многооперационных станках;

г) перемещения элементов, обеспечивающих изменение режимов обработки (скоростей вращения шпинделя, подач и т. д.).

Механизмы, выполняющие вспомогательные перемещения, могут иметь различное конструктивное воплощение, в частности, они могут быть тождественны приводам подач (например, на станках сверлильно-расточной группы), выполнены в виде специальных транспортных устройств, механизмов смены инструмента, промышленных роботов. Устройства последних двух типов, как правило, состоят из нескольких механизмов автономного действия. Основная задача таких механизмов или их отдельных узлов состоит в том, чтобы переместить некоторую массу на заданное расстояние с заданной точностью за минимальное время. При этом

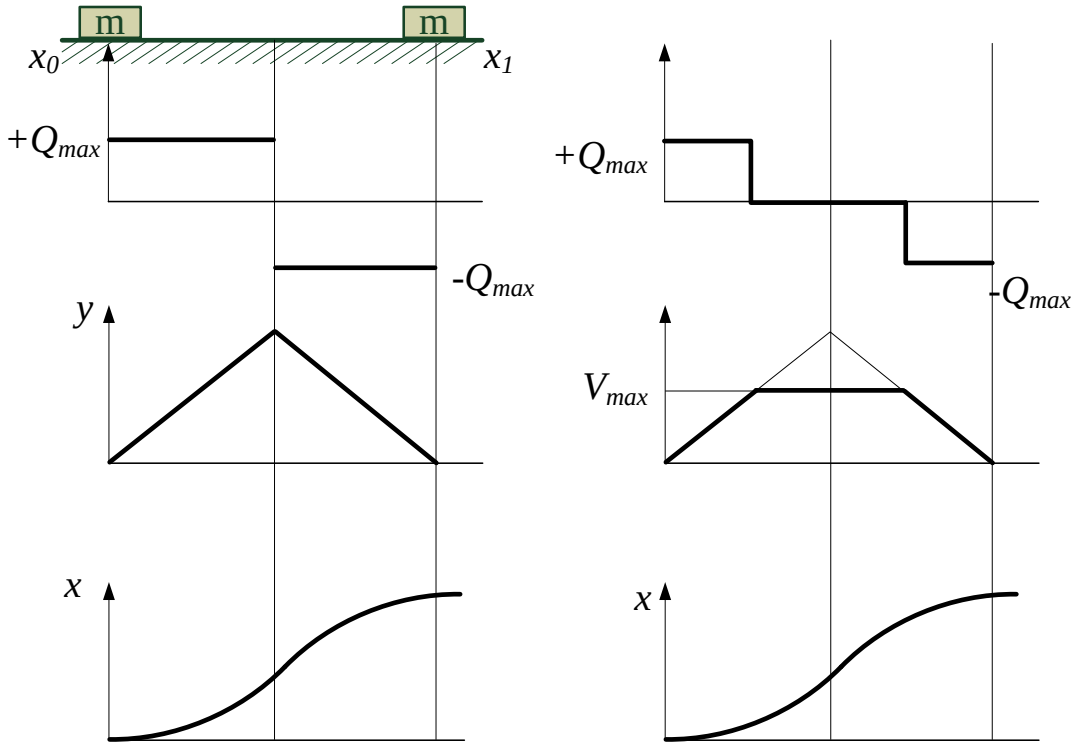
процесс движения механизма должен удовлетворять ряду ограничений: максимальные инерционные силы, возникающие в звеньях механизма (а следовательно, и развиваемые ускорения), не превышают заданных пределов, устанавливаемых по условиям прочности деталей и долговечности механизма или по условиям выполнения механизмом его технологического назначения; максимальная скорость выходного звена механизма ограничивается возможностями источника энергопитания и приводного двигателя; переходные процессы при остановке механизма в заданном положении слабоколебательные (иногда апериодические и даже монотонные), что обусловлено необходимостью подхода к заданному положению с одной стороны.

Расчет позиционного механизма состоит в определении оптимального по быстродействию закона движения и в выборе конструктивных параметров при учете всех указанных ограничений. Если время перемещения выбрано из каких-то соображений, связанных с расчетом общего цикла функционирования машины, то закон движения определяется из условия минимума инерционных сил (ускорений).

Из теории оптимального управления [8] известно решение задачи об оптимальном по быстродействию управлении перемещением массы из начальной точки x_0 в конечную точку x_1. При решении этой классической задачи вводится единственное ограничение по ускорению. Оптимальный по времени цикл позиционирования состоит из двух равных участков разгона и замедления (с максимально допустимым ускорением).

Если время перемещения от x_0 до x_1 задано, то такой закон движения позволяет осуществить это перемещение с минимальными ускорениями. что давно установлено в теории кулачковых механизмов. Идеальный закон не учитывает, однако, всех остальных ограничений и позволяет оценить верхний предел быстродействия, которого можно достичь в механизме с заданной массой и известными силовыми характеристиками приводной установки.

Учет ограничения по максимальной скорости приводит к «деформации» оптимального закона (рис. 2.12).



а) б)

Рис .2.1.2 Оптимальные циклы позиционирования: *а* – треугольный закон изменения скорости; *б* – трапецеидальный закон изменения скорости

При таком симметричном оптимальном цикле позиционирования максимальное ускорение на участках разгона и торможения определяется зависимостью

$$a = \frac{V_{max}^2}{V_{max}T - X} \qquad (2.1)$$

где $V_{\max}$ – максимальная скорость на участке установившегося движения; T – время перемещения; X – длина пути (длина отрезка $[x_0, x_1]$).

Когда $V_{\max} = \frac{aT}{2}$ (рис. 2.12, *а*), из формулы (2.1) получим

$$a = \frac{4X}{T^2} \qquad (2.2)$$

Зависимости (2.1) и (2.2) используются для оценки значения максимальной мощности, которую должен развивать привод позиционного механизма для преодоления инерционной нагрузки:

$$P_{\text{ин.}max.} = mav_{max} = m\frac{v^3{}_{max}}{v_{max}T - X}$$

При $v_{max} = \frac{aT}{2}$

$$P_{\text{ин.}max.} = 8m\frac{X^2}{T^3},$$

где m – приведенная масса подвижных частей механизма.

Помимо затрат энергии на разгон привод преодолевает силы трения в различных опорах, например, при перемещении массы в направляющих с опорами скольжения или качения работа сил трения в направляющих будет такой:

$$A = mgfx\ ,$$

а мощность привода определяется с помощью выражения

$$P = mgfx/t\ .$$

Тогда суммарная минимальная мощность привода будет равна

$$P_{min} = 8m\frac{x^2}{t^3} + mgf\frac{x}{f}\ .$$

Для оптимального цикла позиционирования определим соотношение между заданным перемещением и временем цикла, обеспечивающее равенство мощностей на разгон и преодоление сил трения, которые получим из равенства

$$P_{\text{ин.}} = P_{\text{тр.}}$$

Раскрыв равенство (2.3), найдем

$$X = \frac{gft^2}{8}\ .$$

При

$$x > \frac{fgt^2}{8}\ .$$

мощность привода на разгон системы выше мощности затраченной на преодоление сил трения.

Затраты энергии в условном цикловом приводе без учета сил полезных сопротивлений и диссипативных сил при заданных быстродействии и приведенной массе или приведенном моменте инерции равны максимальной кинетической энергии и определяются соответственно из следующих выражений:

$$A = \frac{m_{\text{пр}}\dot{X}^2}{2}\ ,$$

$$A = \frac{J_{\text{пр}}\dot{q}^2}{2}.$$

Легко показать; что

$$A = \frac{2mX^2}{t^2}$$

$$A = \frac{2Jq^2}{t^2}.$$

Мы видим, что затраты энергии в классических цикловых механизмах существенно возрастают при повышении быстродействия. Задача снижения энергозатрат может быть решена при использовании мехатронных рекуперативных приводов. Одним из первых приводов подобного типа являлась механическая рука [4], запатентованная в Советском Союзе в 1975 г. На рис. 2.13 представлена схема манипулятора с рекуперативным приводом, предназначенная для загрузки технологического оборудования.

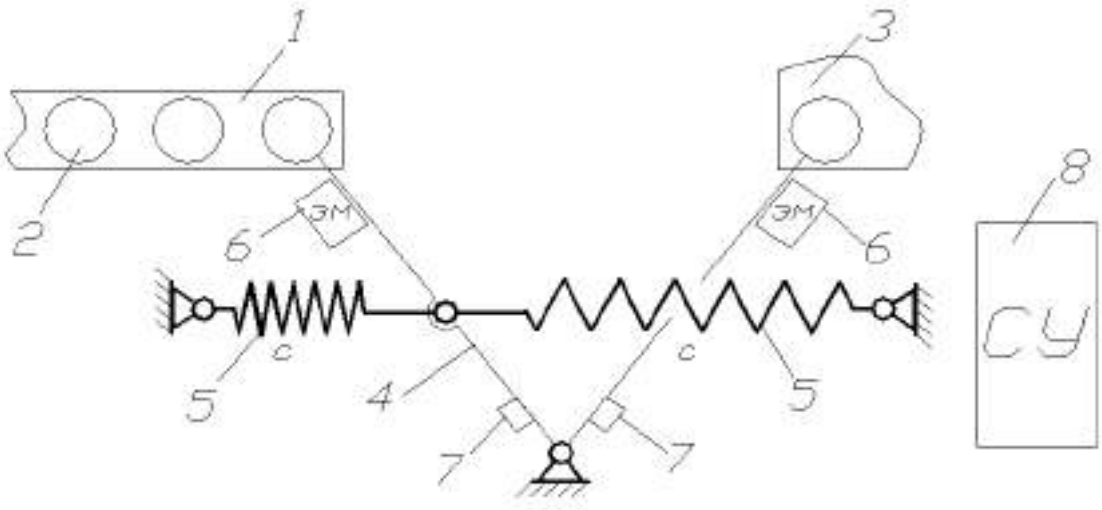


Рис. 2.13. Схема манипулятора для загрузки технологического оборудования: *1* – конвейер подающий; *2* – детали; *3* – оборудование; *4* – рычаг с захватом; *5* – пружины; *6* – электромагниты; *7* – датчики положения; *8* – система управления

Поворотное звено *4* совершает вращательное движение вокруг вертикальной оси и шарнирно соединено с двумя цилиндрическими пружинами *5*, шарнирно закрепленными на основании. На поворотном звене закреплены постоянные магниты, а на основании установлены электромагниты *6*, которые при включении одной полярности обеспечивают притягивание

постоянного магнита, а при включении другой полярности – отталкивание. При таком исполнении сочетание электромагнита с постоянным магнитом создает за время поворота два силовых импульса: один – в начале поворота, а второй – в конце. Если суммарная работа этих силовых импульсов равна работе диссипативных сил, определяемых трением в шарнирах и внутренним трением в цилиндрических пружинах, то остановка в точках позиционирования происходит с нулевой скоростью.

Пружины *5* поочередно выполняют функцию аккумуляторов потенциальной энергии, которая расходуется на разгон поворотного рычага. В среднем положении система имеет максимальную кинетическую энергию, которая затем переходит в потенциальную энергию другой пружины. Фиксация поворотного рычага в крайних положениях обеспечивается тем, что сила притяжения электромагнита больше усилия пружины. Помимо того что затраты энергии снижаются в несколько раз, легко обеспечивается управляемый выстой заданной протяженности или требованиями синхронизации с работой смежного оборудования.

Если работа силовых импульсов больше работы диссипативных сил, то при установке на упор, в нашем случае на электромагнит, скорость соударения определяется с помощью уравнения:

$$A_{\text{сил.имп.}} - A_{\text{д.с.}} = \frac{1}{2} J_{\text{пр}} \dot{q}^2$$

и

$$\dot{q} = \sqrt{2\,(\mathrm{A}_{\text{сил.имп.}} - \mathrm{A}_{\text{д.с.}}) \,/\, \mathrm{J}_{\text{пр}}}\,.$$

Если на поворотном рычаге будут установлены магнитные материалы, то в конце поворота будет только один силовой импульс.

Отличия двух вариантов исполнения заключается только в том, что в первом случае мы имеем два симметричных силовых импульса и время поворота определяется полупериодом колебаний рассматриваемой колебательной системы. Во втором случае увеличится период колебаний и время поворота.

По структуре рекуперативный привод близок к модели часовых механизмов. Основной задачей в теории часов является стабилизация периода в

колебательной системе, в которой спусковой механизм воздействует на последнюю в виде мгновенных ударов или импульсов.

Английский астроном Д. Эри, в результате исследований влияния внешних импульсов, сообщаемых колеблющемуся маятнику, в период колебаний, сформулировал следующую теорему: мгновенный импульс, направленный к положению равновесия, уменьшает период; импульс, направленный от положения равновесия, увеличивает период; импульс в положении равновесия оставляет период без изменений [9].

Отметим также, что в колебательных системах сухое трение стабилизирует период колебаний.

Постоянная сила, действующая в системе на всем полупериоде колебаний, не изменяет период колебаний.

Во всех рекуперативных приводах с пружинными аккумуляторами последние выполняют две основные функции: двигатель во время разгона и рекуператор энергии во время торможения. Для компенсации диссипативных сил используются различные виды двигателей: электрических, пневматических и гидравлических. Мощность этих двигателей в несколько раз меньше мощности, развиваемой пружинным аккумулятором. Закон движения выходного звена определяется силовой или моментной характеристикой пружинных аккумуляторов. В большинстве случаев эти характеристики для пружинных аккумуляторов в возвратно-поступательных и возвратно-вращательных приводах линейные, что требует использования фиксаторов.

В зависимости от решаемых задач возможно использование плоских, спиральных и цилиндрических пружин сжатия или растяжения.

На рис. 2.14 представлен цикловой механизм, в котором звено для переноса изделий выполнено в виде плоской пружины, отсутствуют какие-либо шарниры и только на конце пружины установлены постоянные магниты, взаимодействующие с электромагнитами, расположенными вблизи точек позиционирования, а так же датчики положения [11]. Работа данного механизма аналогична работе рекуперативного привода, представленного на рис. 2.13.

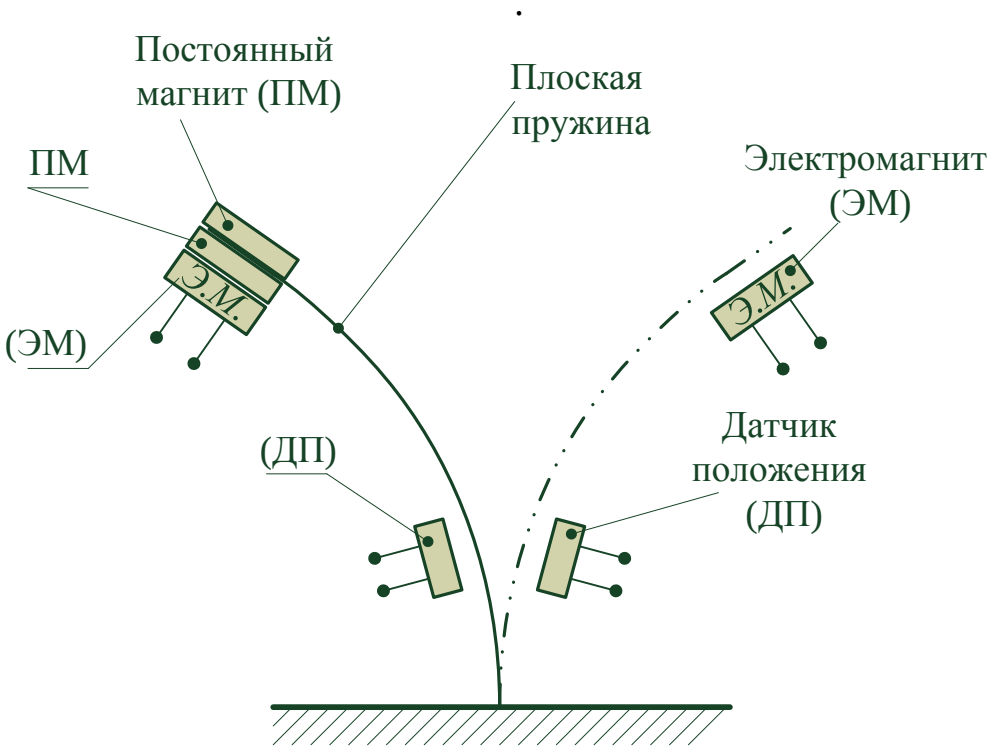


Рис. 2.14. Схема рекуперативного привода с плоской пружиной

В рекуперативных приводах применяются также нелинейные пружинные аккумуляторы.

Простейшим примером нелинейных аккумуляторов является пружинный аккумулятор в виде цилиндрической пружины растяжения, шарнирно соединенной с ведомым звеном, совершающим вращательное движение (рис 2.15).

Зависимость момента от угла поворота для рассматриваемого пружинного аккумулятора имеет вид

$$M = 2ar\left\{\sin\left(1 - \frac{S_{01}}{\sqrt{a^2+r^2+2ar\cos q}}\right)C + P_0\frac{\sin q}{\sqrt{a^2+r^2+2ar\cos q}}\right\} \quad . \qquad (2.4)$$

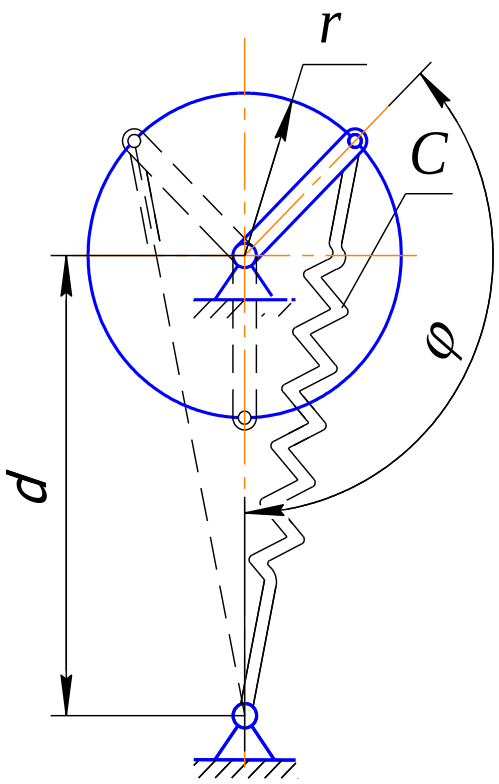


Рис. 2.15. Кинематическая схема нелинейного
пружинного аккумулятора

В отличие от линейных пружинных аккумуляторов, где потери связаны с внутренним трением, в нелинейных пружинных аккумуляторах ПА существенную роль играют потери на преодоление сил трения в шарнирных соединениях.

Для определения приведенного момента трения к оси ведущего звена рекуперативного привода (рис. 2.16) используем уравнение мгновенных мощностей

$$N_{\text{тр.пр.}} = N_{\text{тр}}^{0} + N_{\text{тр}}^{01} + N_{\text{тр}}^{02}, \qquad (2.5)$$

где $N_{\text{тр.пр.}}$ – приведенная мгновенная мощность сил трения в шарнире O; $N_{\text{тр}}^{0}$ – мгновенная мощность сил трения в шарнире O; $N_{\text{тр}}^{01}$ – мгновенная мощность сил трения в шарнире O_1; $N_{\text{тр}}^{02}$ – мгновенная мощность сил трения в шарнире O_2.

Поскольку во вращательных парах момент трения $M_{\text{тр}} = Pf\frac{d}{2}$, где

P – нагрузка на шарнир, f – приведенный коэффициент трения, d – диаметр соответствующей оси, уравнение (2.5) можно записать в виде

$$M_{\text{тр.пр.}}\dot{q} = M^0_{\text{тр}}\dot{q} + M^{01}_{\text{тр}}\dot{q}_1 + M^{02}_{\text{тр}}\dot{q}_2$$

$$\text{или } M_{\text{тр.пр.}}\dot{q} = M^0_{\text{тр}}\dot{q} + P_{\text{пр}} f \frac{d_3}{2}\dot{q}_1 + P_{\text{пр}} f \frac{d_3}{2}\dot{q}_2,$$

$$M_{\text{тр.пр.}} = P_{\text{пр}} \cos q_1 \, f \frac{d}{2} + P_{\text{пр}} f \frac{d_3}{2}\frac{(\dot{q}_1 + \dot{q}_2)}{q}.$$

Легко показать, что в рассматриваемом механизме $\dot{q}_1 + \dot{q}_2 = q$ и уравнение приведенного момента имеет вид

$$M_{\text{тр.пр.}} = \frac{P_{\text{пр}} f}{2}(d\cos q_1 + d_3).$$

Ранее было определено усилие пружины. Тогда закон изменения момента трения определяется из решения следующей системы уравнений:

$$M_{\text{тр.пр.}} = \frac{P_{\text{пр}} f}{2}(d\cos q_1 + d_3) = \frac{P_{\text{пр}} f d}{2}\left(\cos q_1 + \frac{d_3}{d}\right);$$

$$P_{\text{пр}} = (r\cos q_1 + a\cos q_2)C;$$

$$\sin q_1 = \frac{d}{L_{\text{пр}}}\sin q;$$

$$\sin q_1 = \frac{r}{L_{\text{пр}}}\sin q;$$

$$P_{\text{пр}} = P^{max}_{\text{пр}} \frac{\cos q_1 - \left(d/r\right)\cos q_2}{2}$$

$$L_{\text{пр}} = \sqrt{a^2 + r^2 - 2ar\cos q};$$

$$M_{\text{пр.тр.}} = P^{max}_{\text{пр}} f \frac{d}{2}\left(\cos q/2 + \cos q/2 \frac{d_1}{d}\right).$$

Работа сил трения на угле поворота

$$A = 2\int_0^{\pi} M_{\text{пр.тр.}} dq = 2P^{max}_{\text{пр}} f \frac{d}{2}\left(\int_0^{\pi} cos^2 q/2 + \frac{d}{a}\int_0^{\pi} \cos q/2\right).$$

Исходными данными для расчета характеристик пружинного аккумулятора являются приведенный к оси пружинного аккумулятора момент инер-

ции нагрузки $J_{\text{пр}}$ и время поворота, равное времени выполнения рабочего перехода.

Если пренебречь всеми возможными диссипативными силами, то потенциальная энергия пружинного аккумулятора перейдет в кинетическую энергию механизма, и следовательно,

$$V_{\text{пр}}^{max} = T_{max} = \frac{J_{\text{пр}}\dot{q}_{max}^2}{2} = 2cr^2.$$

Для предварительных расчетов целесообразно использовать модель пружинного аккумулятора, с синусной характеристикой.

Зная время поворота ведущего звена пружинного аккумулятора можно определить среднюю скорость

$$\dot{q}_{\text{ср}} = \frac{2\pi}{t}.$$

Для пружинного аккумулятора с синусной моментной характеристикой

$$\dot{q}_{max} = \frac{\pi}{2}\dot{q}_{\text{ср}} = \frac{\pi}{2}\frac{2\pi}{t} = \frac{\pi^2}{t}.$$

Подставив значение $\dot{q}_{max}$, получим

$$V = \frac{J_{\text{пр}}\pi^4}{2t^2}$$

$$\text{или } P_{\text{пр}}r = \frac{J_{\text{пр}}\pi^4}{2t^2}$$

Выбор радиуса закрепления пружины определяется с позиций уменьшения сил трения, при увеличении снижаются диссипативные потери, но увеличиваются массогабаритные характеристики, поэтому здесь необходим поиск рациональных решений.

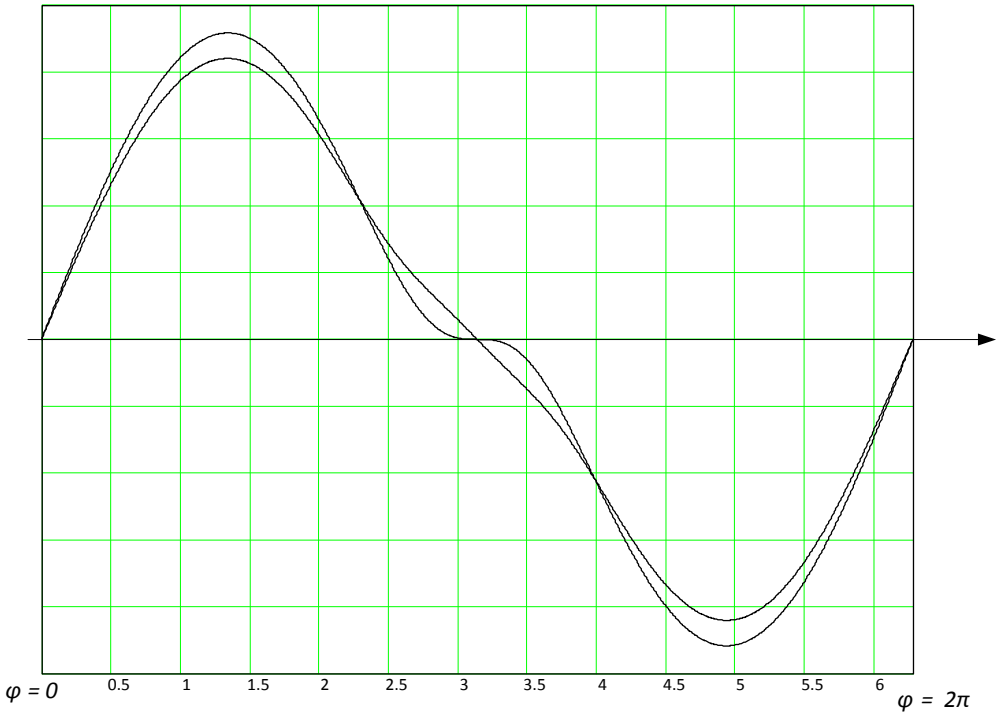


Рис. 2.16. Изменение момента от угла поворота

Выбор параметров пружин для нелинейных аккумуляторов с $a > r$ можно вести по формулам пружинного аккумулятора с синусной моментной характеристикой, единственная погрешность заключается в том, что закон изменения угловой скорости будет отличаться от закона $\dot{q} = \dot{q}_{max} \sin {}^{q}/_{2}$, но, построив математическую модель такого аккумулятора, можно определить время поворота и внести коррективы в выбор или усилия пружины или радиуса r.

Максимальная запасенная потенциальная энергия

$$V = 2cr^2 = P_{\text{пр}}^{max} r,$$

где $2cr = P_{\text{пр}}^{max}$ – максимальное усилие.

Определим закон изменения угловой скорости шагового рекуперативного привода для пружинного аккумулятора с синусной моментной характеристикой.

Уравнения полной механической энергии (без учета сил трения) имеет вид

$$E = \frac{J_{\text{пр}}\dot{q}^2}{2} + 2cr^2 cos^2 \frac{q}{2} = 2cr^2.$$

Решая уравнение (2.6) относительно $\dot{q}$, получим

$$\dot{q} = 2\sqrt{\frac{cr^2}{J_{\text{пр}}}}\sin\frac{q}{2},$$

а максимальная скорость в положении устойчивого равновесия, когда $q = \pi$, будет такой:

$$\dot{q}_{max} = 2\sqrt{\frac{cr^2}{J_{\text{пр}}}}.$$

При этом средняя угловая скорость привода определяется так:

$$\dot{q}_{\text{ср}} = \frac{\int_0^{\pi} 2\sqrt{\frac{cr^2}{J}}\sin\frac{q}{2}}{\pi} = \frac{2\sqrt{\frac{cr^2}{J}}\int_0^{\pi}\sin\frac{q}{2}}{\pi} = \frac{4\sqrt{\frac{cr^2}{J}}}{\pi} = \frac{4}{\pi}\sqrt{\frac{cr^2}{J}}.$$

На рис. 2.17 представлен нереверсивный рекуперативный шаговый привод для поворотного стола с углом поворота, равным 2. Он состоит из пружинного аккумулятора с одной цилиндрической пружиной и пневмоцилиндра, соединенных с выходным звеном. Пневмоцилиндр служит для компенсации диссипативных потерь в шарнирах пружинного аккумулятора и выполняет функцию фиксатора при нахождении выходного звена в начальном положении

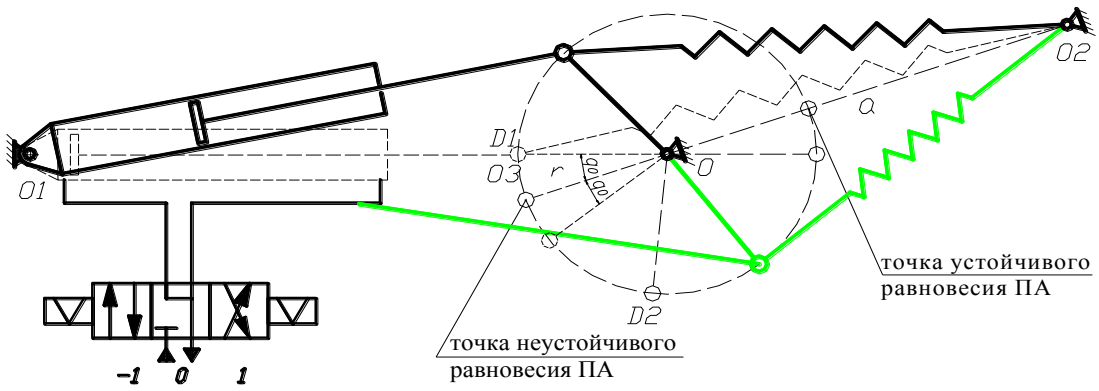


Рис.2.17. Нереверсивный шаговый рекуперативный привод

На рис. 2.18 представлены алгоритм управления и моментные характеристики нереверсивного шагового привода.

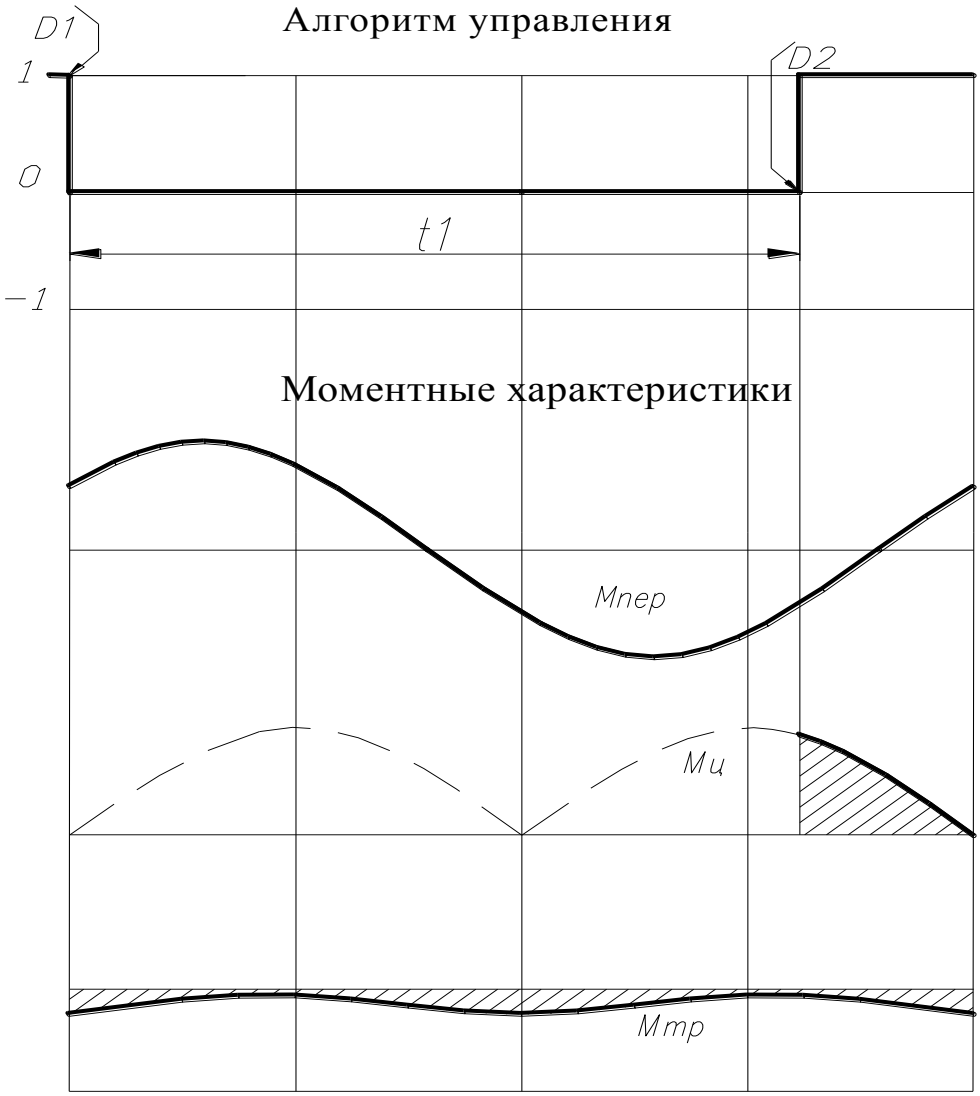


Рис. 2.18. Моментные характеристики нереверсивного шагового привода и алгоритм управления

2.2. Мехатронные модули дозирования жидкостей и сыпучих материалов

В технологических процессах производства продукции можно выделить два вида дозирования:

- технологическое дозирование;

- дозирование продукции в потребительскую тару.

Нормы точности на технологическое дозирование определяются рецептурой и в данном пособии не рассматриваются.

Нормы точности на количество фасованной продукции в потребительской таре определяются ГОСТ 8. 575 – 2001.

Для оценки реально требуемой точности рассмотрим действующие нормативные документы. Приведем пределы допустимых отрицательных отклонений *Т* содержимого нетто-упаковки от ее массы согласно требованиям к количеству фасованных товаров в упаковках любого вида при их производстве, расфасовке, продаже и импорте [10]:

*Таблица 2.1.1.*Пределы допускаемых отрицательных отклонений содержимого нетто от номинального количества (не более 10 кг)

Номинальное количество нетто М, г					Предел допускаемых отрицательных отклонений	
					% от М	г
Св.	5	до	50	включ.	9	-
>>	50	>>	100	>>	-	4,5
>>	100	>>	200	>>	4,5	-
>>	200	>>	300	>>	-	9
>>	300	>>	500	>>	3	-
>>	500	>>	1000	>>	-	15
>>	1000	>>	10000	>>	1,5	-

В соответствии с ГОСТ Р.8.579 – 2001 «Требования к количеству фасованных товаров в упаковках любого вида при их производстве, расфасовке, продаже и импорте», гармонизированного с европейской директивой 76/211/ЕС Совета от 29 марта 1976 г., предприятия-изготовители, фасовщики, сотрудники оптовой и розничной торговли при фасовании продукции в упаковки с одним и тем же значением потребительского товара, указанного на всех упаковках, должны выполнять следующие требования:

- не превышать предел допустимых отрицательных отклонений *Т* содержимого нетто упаковочной единицы (см. с.40);

- партия фасованных товаров в упаковках одинакового номинального количества с обозначением массы, не превышающей 10 кг, должна

иметь среднее содержимое нетто не менее номинального количества, указанного на упаковке;

- количество бракованных единиц в партии не должно превышать 2 % размера партии;

- в бракованных упакованных единицах не должно быть ни одной упаковочной единицы, у которой отрицательное отклонение содержимого нетто от номинального количества превышает двойной предел допустимых отрицательных отклонений;

-для фасованных товаров с массой нетто, превышающей 10 кг, требования к среднему содержимому партии товаров не регламентируются, а количество отрицательных отклонений содержимого нетто не должно превышать количество положительных отклонений.

Упаковка, в которой фактическое значение массы $M_{факт} \geq M - T$, считается годной для выпуска в обращение. Если $M_{факт} < M - T$, то упаковка считается бракованной и в партии товара допускается присутствие не более 2 % бракованных изделий.

С учетом последнего требования партия фасованных товаров, подвергаемая проверке, должна быть кратна 100. При настройке дозаторов прежде всего необходимо определить среднее квадратическое отклонение, которое по требованиям стандарта меньше половины допустимого отрицательного отклонения *T*. Поскольку среднее арифметическое каждой последующей партии фасованных товаров будет отличаться от предыдущей как в плюс так и в минус, то для обеспечения требований стандарта к упаковкам с массой продукта до 10 кг следует настраивать дозаторы на дозирование в «плюс». Значение этого «плюса», который можно рассматривать как подарок покупателю, должно составлять не менее 0,2 фактического значения средней квадратической погрешности дозатора. При любой случайной выборке 100 единиц фасованной продукции среднее содержимое партии будет больше или равно номинальному значению. Настройка дозаторов должна проводиться с использованием контрольных весов, чувствительность которых меньше 0,02*T*. Для контрольных проверок в процессе производства рекомендуется использовать весы с чувствительностью не более 0,1*T*.

Если в единичной упаковке масса продукции меньше 5 г, то в реализацию продукция поступает в групповой потребительской упаковке, содержащей несколько единиц с номинальной массой, как правило намного превышающей 5 г. При этом допуск на погрешность определяется массой суммарного продукта. Например, пакетики с чаем содержат по 2 г продукта и продаются в упаковках по 25, 50 и 100 штук. Если один и тот же дозатор последовательно используется для упаковок с различным количеством единичной продукции, то максимально допустимое погрешность дозатора определяется из соотношения 0,2, где T – допустимое отрицательное отклонение для номинальной массы упакованного продукта в групповой потребительской таре.

На рисунке 2.19 представлен мехатронный объемный дозатор с цифровым заданием объема дозы.

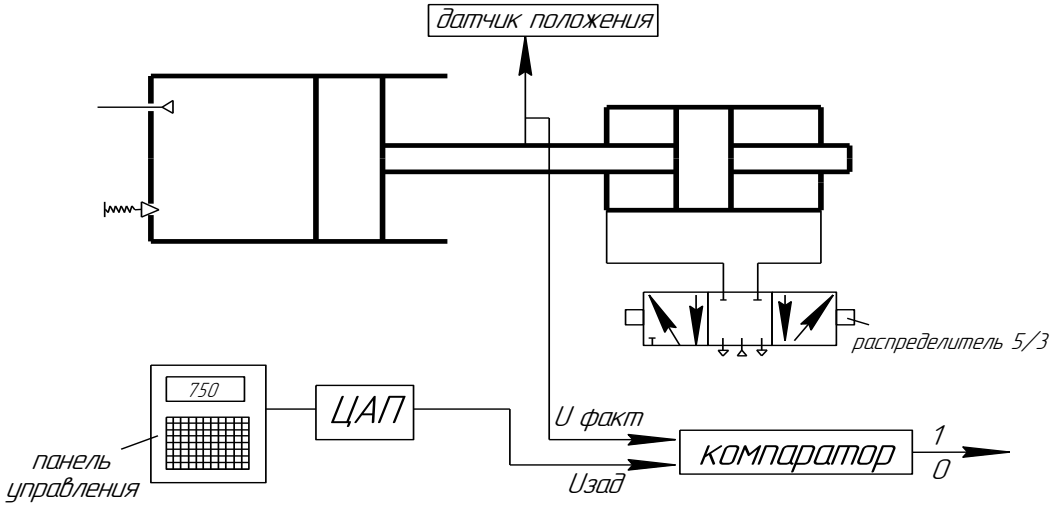


Рис. 2.19. Мехатронный дозатор для розлива тихих жидкостей

Дозатор состоит из мерного цилиндра, поршня, всасывающего и выпускного клапанов. Поршень цилиндра связан со штоком пневмоцилиндра, который через трубопровод соединен с пневмораспределителем 5/3 и двумя управляющими катушками, связанными с системой управления, а шток пневмоцилиндра – также с линейным датчиком, выход которого связан с входом компаратора. Кроме того, дозатор снабжен панелью управления, которая через цифро-аналоговый преобразователь соединена с двухпороговым компаратором.

Если сигналы $U_{зад}$ и $U_{факт}$, поступающие в компаратор, совпадают, то на его выходе появляется сигнал *1*, и распределитель переключается в другое крайнее положение. Если датчик положения определит, что тары нет, то система управления переключит распределитель в нейтральное положение, в котором он будет находиться до тех пор, пока тара не появится на позиции розлива.

Время цикла определяется суммарным временем наполнения и опорожнения мерного сосуда и временем выстоя, определяемым технологическим процессом, принятым в конкретном фасовочном оборудовании (рис 2.20).

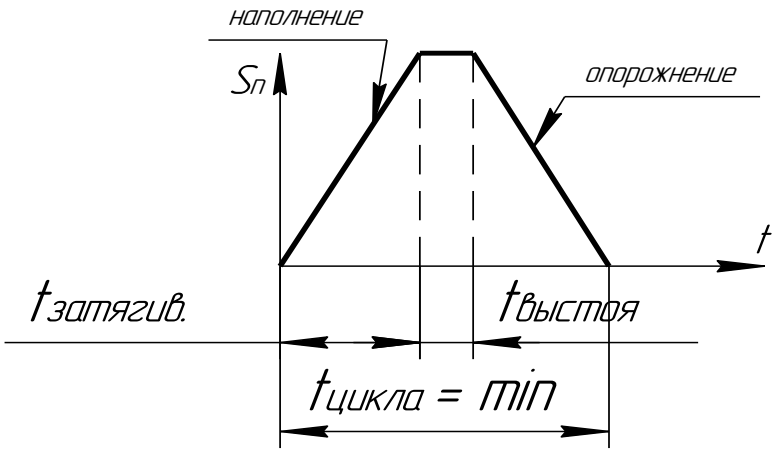


Рис. 2.20. Циклограмма работы объемного дозатора

Наиболее высокая производительность наблюдается в том случае, когда время выстоя равно нулю. Если смена тары под дозатором происходит за время наполнения, то уменьшать время наполнения мерного сосуда в объемном дозаторе нецелесообразно. Высокая производительность фасовочного оборудования может быть достигнуто за счет увеличения количества дозаторов, работающих одновременно. В первом случае применяются карусельные машины, во втором – линейные автоматы, в которых используется порядная установка дозаторов и одновременный групповой розлив в тару, расположенную в кассетах или в транспортной таре (ящиках).

На рис. 2.21 представлена схема устройства для объемного дозирования при групповом розливе. В герметичном корпусе *1* устанавливается заданное количество сифонов, выполненных в виде коленообразных трубок *2*. Тара для розлива поддается или в транспортной таре (ящиках), или в кассетах. В литературе иногда этот способ розлива называют кассетным. Дозатор снабжен двумя емкостными датчиками уровня *3* и *4*, которые определяют суммарный объем доз и установлены на смотровой трубке *5*.

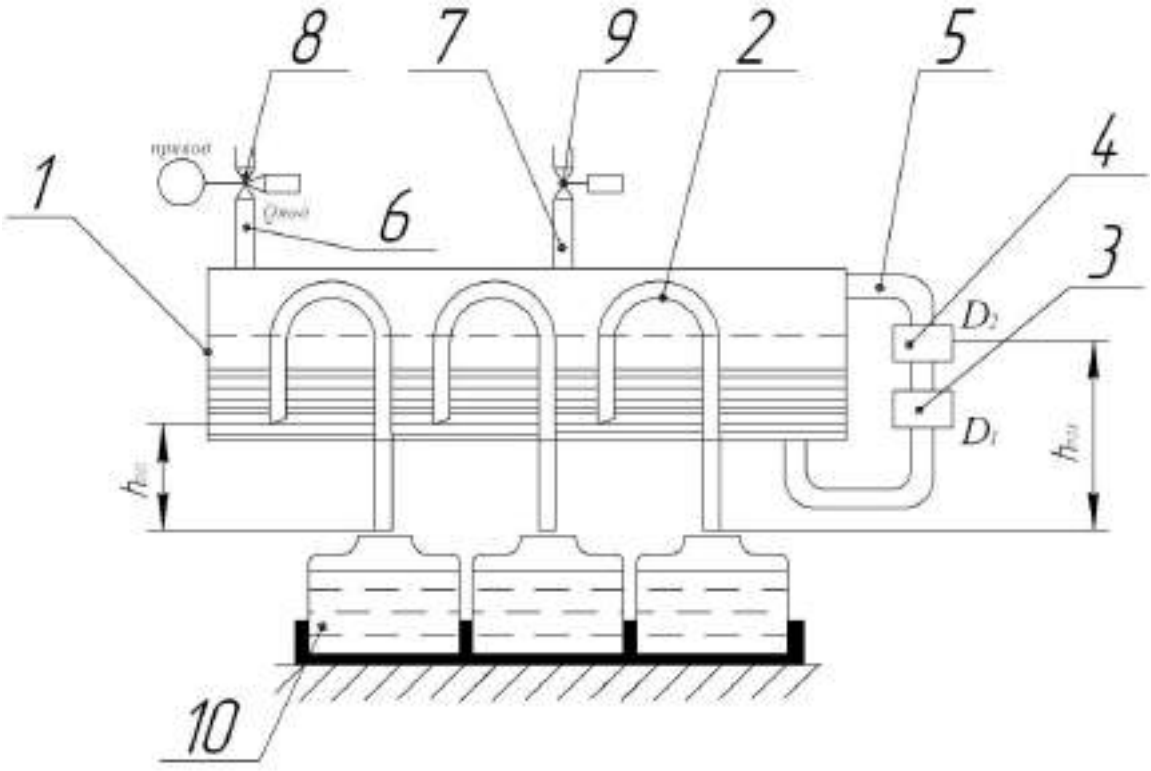


Рис. 2.21 Объемный дозатор для группового розлива

Корпус снабжен патрубками *6* и *7*. Патрубок *6* соединяет внутренний объем дозатора через распределитель *8* или с атмосферой, или с источником повышенного давления. Через патрубок *7* при открытом клапане *9* в дозатор поступает дозируемая жидкость. Когда жидкость дойдет до уровня срабатывания датчика *4*, система управления дает сигнал на закрытие клапана *9* и переключение распределителя *8* на подачу избыточного давления в дозатор. Под действием избыточного давления жидкость начнет сливаться из сосуда через сифонные трубки.

Поскольку все сифонные трубки имеют одинаковые геометрические характеристики, то теоретически расходные характеристики у них тоже одинаковы, что и обеспечивает равенство доз $Q_i = Q_{i=1}$. Расход жидкости определяется с помощью выражения

$$Q_{сл} = \mu \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2g \frac{\Delta p}{\rho}}, \qquad где \quad \Delta p = p_{сл} - p_{сл_1}$$

.

Интегральные дозаторы – это дозаторы непрерывно-циклического действия. Величина дозы продукта пропорционально времени его отмеривания.

Объем дозы при интегральном дозировании зависит от расхода, с которым происходит розлив, и от времени и определяется интегрированием расхода жидкости по времени:

$$V_д = \int_0^t Q(t)dt, \tag{2.7}$$

где Q – расход жидкости; t – время розлива

При дозировании жидких продуктов в потребительскую тару вместимостью до 10 л в первом приближении можно принять закон дозирования в соответствии с рис. 2.22.

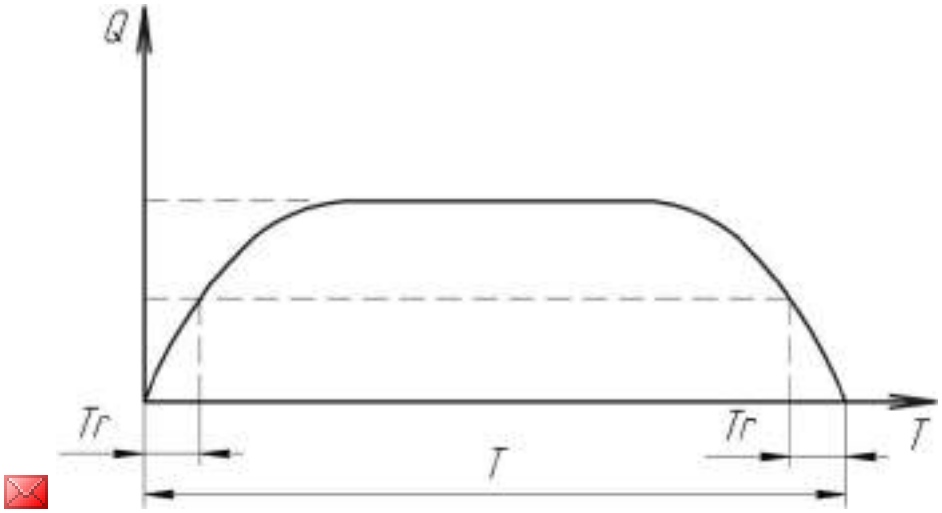


Рис. 2.22. Изменение расхода жидкости при интегральном дозировании

Под временем дозирования T будем понимать промежуток времени от момента подачи управляющего сигнала на катушку распределителя до момента отключения этого сигнала.

Введем также понятие времени переключения T_r, под которым понимается интервал времени между моментом включения или отключения электрического тока через катушку распределителя и моментом, когда давление или расход достигнет 50 % от его максимального значения. Время переключения зависит от типа клапана, вида продукта, давления потока и его вязкости, рода электрического тока (постоянный или переменный).

Если расход жидкости постоянен, то формула (2.7) преобразуется следующим образом:

$$V_{\partial} = Qt_{om}, \tag{2.8}$$

где t_{om} – время розлива, или время открытия клапана.

Отсюда следует, что при постоянстве расхода существенно упрощается система управления, так как для розлива продукции достаточно открыть дозирующий клапан на постоянные промежутки времени и таким образом получить серию постоянных, с достаточной точностью доз. Расход жидкости через клапан определяют по формуле

$$Q = \mu f \sqrt{2gH}, \tag{2.9}$$

где μ – коэффициент расхода, f – площадь отверстия, через которое происходит истечение жидкости, H – уровень жидкости в резервуаре по отношению к уровню, на котором истекает жидкость.

Погрешность интегрального дозирования определяется непостоянством расхода жидкости за время дозирования и непостоянством времени переключения при открытии и закрытии клапана. Задача обеспечения постоянства расхода жидкости актуальна не только для систем дозирования в фасовочном оборудовании, но и во многих технологических процессах, например в системах водоподготовки, очистки канализационных стоков, поточной пастеризации и стерилизации молочной продукции и т. д. В настоящее время разработано достаточно большое количество стабилизаторов расхода жидкости, но в данном пособии рассмотрены только те устройства, которые, по нашему мнению, наиболее предпочтительны для использования в системах дозирования в потребительскую тару.

Рассмотрим конструкцию дозатора на основе сосуда Мариотта (рис.2.23). Сосуд *1* герметично закрыт и в процессе розлива связан с атмосферой только посредством трубки *2*, которая одним концом погружена в жидкость.

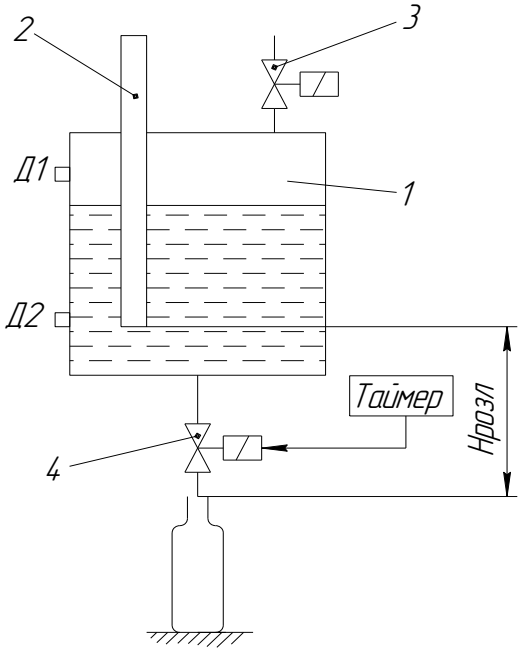


Рис. 2.23. Система дозирования с использованием сосуда Мариотта

Перед началом розлива жидкость поступает в сосуд *1* через клапан *3*. Когда сосуд *1* заполнен, срабатывает датчик *D*1, и клапан *3* перекрывается. Жидкость заполняет сосуд *1* и трубку *2* таким образом, чтобы в них был одинаковый уровень жидкости. Далее начинается розлив, клапан *4*, управляемый таймером *5*, начинает открываться и закрываться с заданной периодичностью. При вытекании некоторого количества жидкости из сосуда, так как он сверху герметично закрыт, в нем образуется вакуум. Уровень жидкости в трубке *2* опускается до ее низа, и далее воздух начинает подсасываться в сосуд через эту трубку. Причем сохраняется баланс таким образом, чтобы жидкость в трубку не поступала, а в сосуде сохранялся вакуум в объеме, при котором давление в жидкости на уровне конца трубки равнялось атмосферному и оставалось постоянным. Получаем, что уровень жидкости *H* (см. формулу (2.9)), который определяет ее расход, остается постоянным. Это в итоге и определяет постоянство расхода.

Процесс розлива после наполнения сосуда *1* протекает следующим образом. Клапан *4*, открываясь на постоянные промежутки времени, дозирует жидкость. Уровень жидкости постепенно опускается. Когда он приближается к концу трубки, срабатывает датчик *D*2, розлив прекращается, и через клапан *3* жидкость доливается в сосуд *1*, затем розлив возобновляется.

Недостатком такого дозирования является периодичность работы дозатора, а именно потеря времени в период поступления жидкости в сосуд *1*. Непрерывности процесса дозирования можно достичь, используя два параллельно установленных сосуда Мариотта (рис. 2.24).

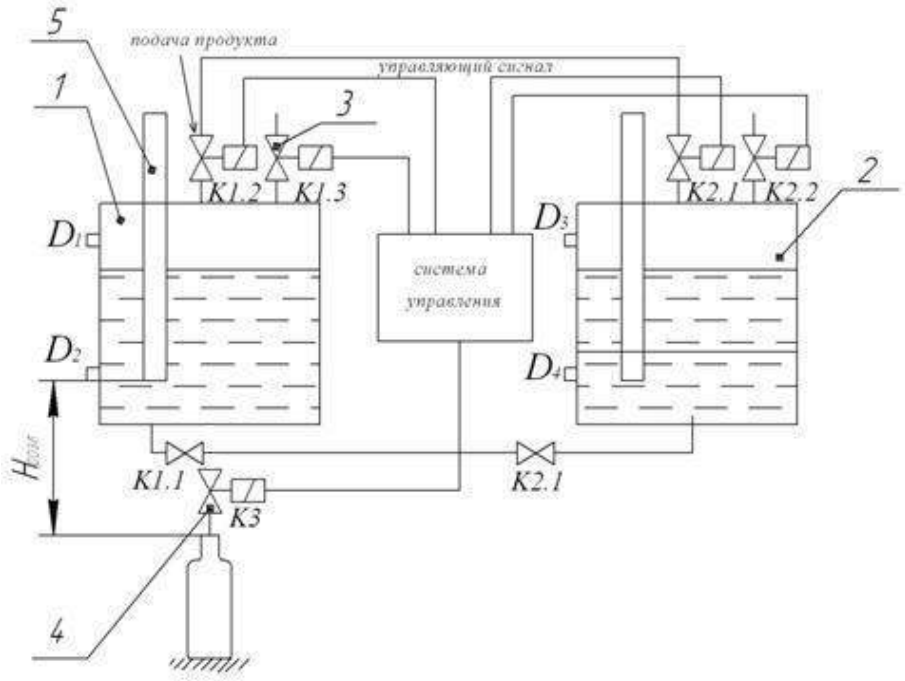


Рис. 2.24. Система непрерывного дозирования
с использованием двух сосудов Мариотта

В систему непрерывного дозирования входят два сосуда Мариотта *1* и *2*, установленных параллельно и через клапаны К1.1 и К2.1, соединенных с дозирующим клапаном К3. Клапан К3 соединен с системой управления, которая задает время его открытия, соответствующее заданной дозе.

Рассмотрим последовательность работы системы дозирования. Пусть в определенный момент в процесс дозирования включен сосуд *1*. При этом клапан К 1.1 открыт, а клапаны К2.1, К1.2 и К1.3 закрыты. В сосуде *2* кла-

паны К2.2 и К2.3 открыты, т. е. происходит опорожнение сосуда *1* и наполнение сосуда *2*. При опускании жидкости в сосуде *1* до уровня срабатывания датчика *D*2 закрываются клапаны К1.1, К2.2 и К2.3, открывается клапан К2.1 и одновременно клапаны К1.2 и К1.3. Теперь дозирование происходит из сосуда *2*.

Для непрерывной работы системы дозирования расход подачи жидкости в нее должен быть больше расхода розлива. При этом наполнение одного из сосудов происходит быстрее, чем опорожнение другого, и система управления при поступлении сигналов с датчиков *D*1 или *D*3 выдает команду на закрытие клапанов К1.2 и К1.3 или К2.2 и К2.3.

Размер дозы задается временем открытия клапана *3*. Точность розлива зависит от скорости срабатывания элементов системы управления и клапана. На рис.2.25 представлена схема дозатора с интегральным дозированием на основе пружинного стабилизатора расхода жидкости. Он состоит из бака *1*, подвешенного на пружинах *2* и соединенного гибкой трубкой *3* с клапаном *4*. Дозирование производится в тару *5*. Контроль наличия тары обеспечивается датчиком приближения *D*1, выход которого соединен с системой управления *6*. Кроме того, дозатор снабжен еще двумя датчиками приближения *D*2 и *D*3. При срабатывании датчика *D*2 в систему управления поступает сигнал, свидетельствующий о том, что бак *1* опустился в крайнее нижнее положение. Это может быть вызвано двумя причинами: длительное отсутствие тары на позиции розлива или увеличенный расход подачи. Система управления выдает команду на закрытие клапана *7,* и подача жидкости в бак *1* прекращается, но или система готова к продолжению дозирования, или процесс дозирования продолжается. Для ограничения частоты срабатывания клапана *7* дозатор снабжен еще одним датчиком приближения *D*4, сигнал с которого при движении бака вниз через систему управления включает клапан *7*.

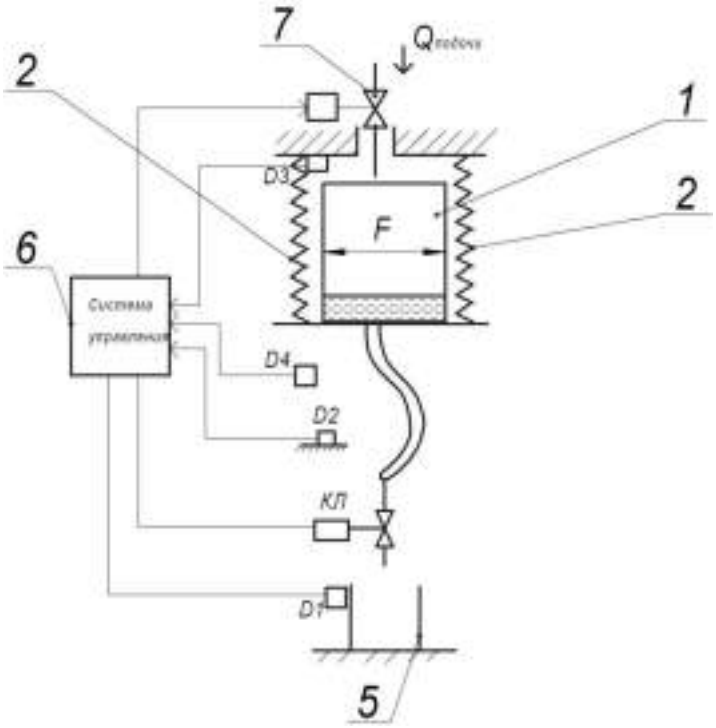


Рис.2.25. Дозатор с пружинным стабилизатором расхода жидкости

Высота расположения бака, из которого вытекает жидкость, меняется в зависимости от веса жидкости находящейся в сосуде. Уровень жидкости в баке остается на постоянной высоте по отношению к таре, если выполняется условие

$$F = c\rho,$$

где F – площадь поперечного сечения цилиндрического бака; ρ – плотность жидкости; с – суммарная жесткость пружин *2* (см. рис.2.25).

Объем бака *1* определяется технологической схемой дозирования. При непрерывном дозировании объем бака минимален, зависит от времени смены тары и требуемой производительности. Можно рекомендовать минимальный объем, равный 5–10 максимальным объемам дозы.

Объемно-интегральный способ дозирования предусматривает использование сифонных дозаторов (рис.2.26).

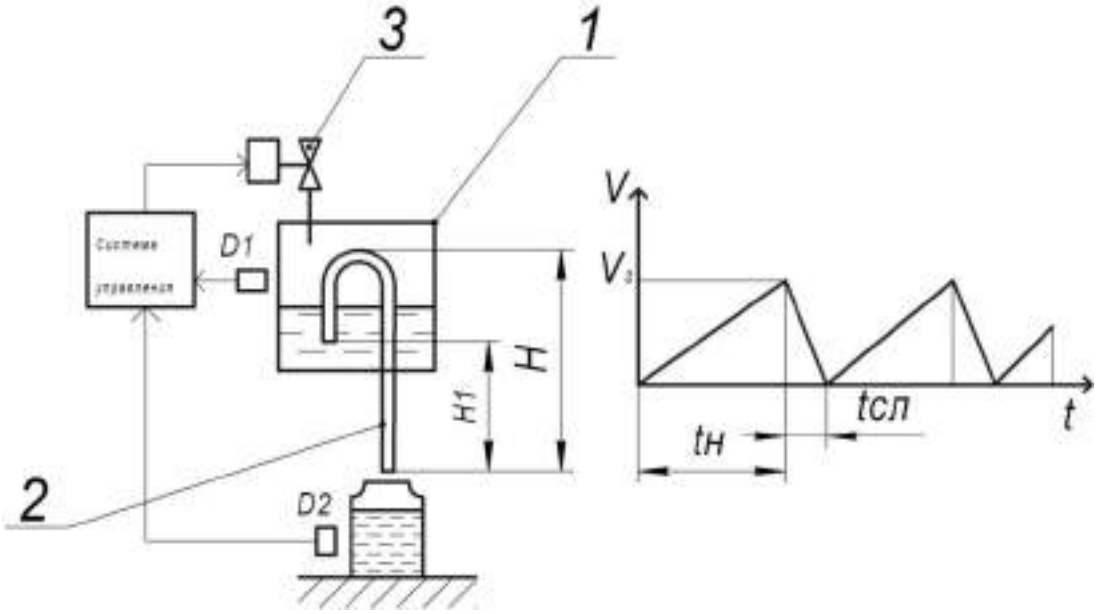


Рисунок 2.26. Сифонный дозатор

Сифонный дозатор выполнен в виде сосуда *1*, в котором размещена сифонная трубка *2*. Жидкость поступает в сосуд *1* через клапан *3*. При достижении жидкостью уровня на высоте *H* начинается лавинообразный сброс жидкости, для чего необходимо выполнение условия

$$Q_{\text{сл}} > Q_{\text{п}}.$$

Сброс жидкости происходит до тех пор, пока ее уровень в сосуде не опустится до уровня *H*1, тогда в трубку *2* попадет воздух, произойдет прерывание потока и истечение жидкости прекратится. Объем сливаемой дозы составит:

$$V_{\partial} = V_{г} + \int_{0}^{t_{сл}} Q_{n}(t)dt,$$

где $V_{\text{г}}$ – геометрический свободный объем части сосуда *1*, расположенной между уровнями *H* и *H*1); $Q_{\text{п}}$ – расход подаваемой в сосуд *1* жидкости; $t_{\text{сл}}$– время слива жидкости.

Если обеспечивается стабильно постоянный расход разливаемой жидкости, то объем дозы определяется по формуле (2.8). Преимуществом такой системы является отсутствие клапанов, прерывание потока производится без клапана. Это оправдано при розливе агрессивных жидкостей или

при повышенных санитарно-гигиенических требованиях. Отсутствие клапана можно отнести и к недостаткам системы, потому что без него невозможно остановить процесс дозирования при отсутствии тары. Кроме того, такой дозатор по производительности уступает описанным выше дозаторам.

На рис.2.27. представлена схема дозатора повышенной производительности.

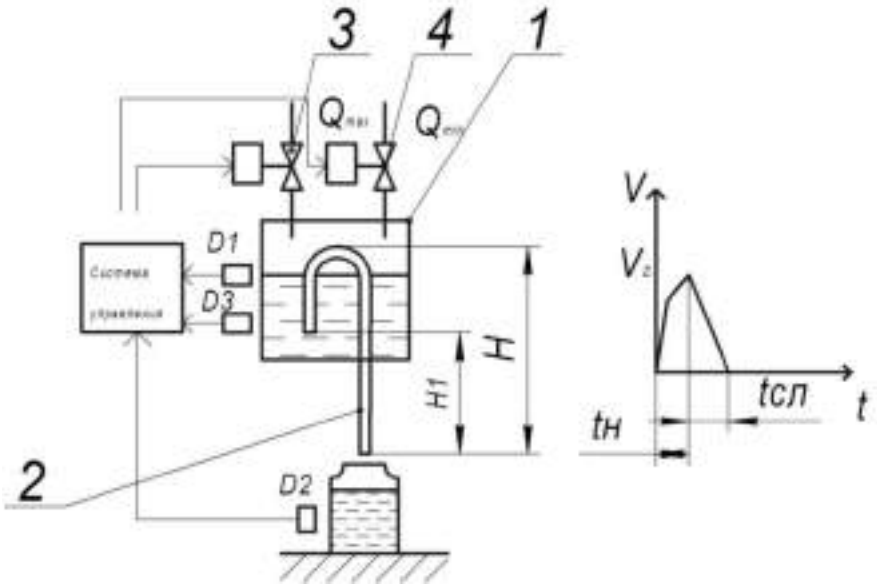


Рис. 2.27. Сифонный дозатор повышенной производительности

Сифонный дозатор, состоящий из корпуса *1* и сифонной трубки *2*, снабжен датчиками *D*1 и *D*3. Датчик *D*1 установлен ниже уровня *H*, а датчик *D*3 – выше уровня *H*1. Дозируемая жидкость поступает в дозатор через управляемые клапаны *3* и *4*. Через клапан *4* расход жидкости минимальный, он меньше расхода слива, определяемого высотой *H*1. Через клапан *3* расход жидкости максимальный. Клапан *3* открывается при поступлении в систему управления сигнала с датчика *D*3. При подъеме жидкости до уровня срабатывания датчика *D*1 в систему управления поступает сигнал и клапан *3* закрывается. Дальнейшее наполнение дозатора происходит через клапан *4*, и при достижении высоты *H* дозатор срабатывает и начинается слив. Если при поступлении в систему управления сигнала с датчика *D*1 будет отсутствовать сигнал с датчика *D*2, свидетельствующего о наличии тары на позиции розлива, из системы управления по-

ступит сигнал на закрытие клапана *4*. При подаче тары на позицию розлива с датчика *D*2 система управления получит сигнал, клапан *4* откроется и процесс розлива возобновится. Такое построение системы дозирования позволяет уменьшить время наполнения и повысить производительность.

На рис.2.28 представлена бесклапанная система дозирования агрессивных жидкостей с использованием пружинного стабилизатора расхода жидкости и сифонного дозатора. Эта система особенно эффективна для дозирования насыщенных солевых растворов. Например, в хлебопекарной промышленности насыщенный солевой раствор приготавливается в отдельном баке и из него происходит дозирование. При подвешивании бака на пружинах, жесткость которых подобрана соответствующим образом, получаем пружинный стабилизатор расхода жидкости и бесклапанную систему дозирования агрессивных жидкостей, в том числе абразивных жидкостей.

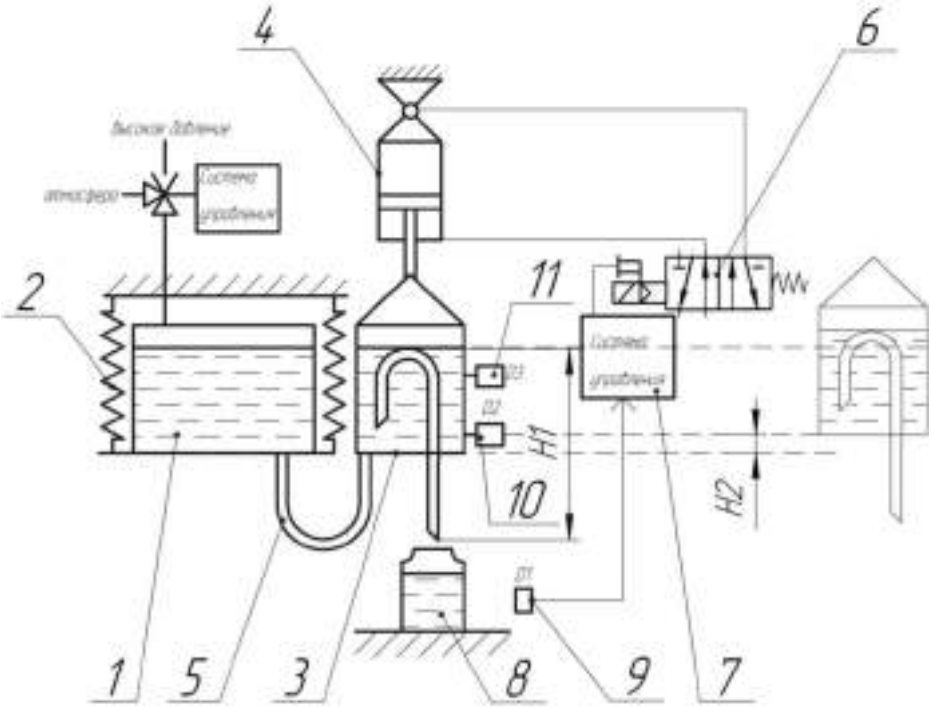


Рис. 2.28. Бесклапанная система дозирования агрессивных жидкостей

Система дозирования состоит из бака *1*, подвешенного на пружинах *2*. Сифонный дозатор *3* подвешен на пневмоцилиндре *4* и соединен гибким

шлангом *5* с баком *1*, а пневмоцилиндр *4* с пневмораспределителем *6*. Сигнал на переключение пневмораспределителя *6* поступает из системы управления *7*. Наличие тары *8* на позиции розлива контролируется емкостным датчиком *9*, соединенным с системой управления. Высота установки сифонного дозатора выбирается такой, чтобы в крайнем вытянутом положении штока пневмоцилиндра верхний край сифонной трубки был ниже уровня жидкости в баке. Если по каким-либо причинам тара не поступила на позицию розлива, с датчика *D*1 в систему управления поступает сигнал, последняя выдает команду на переключение пневмораспределителя и шток цилиндра втягивается, поднимая сифонный дозатор на такую высоту, чтобы изгиб сифонной трубки поднялся выше уровня жидкости в баке. Процесс дозирования прекращается и возобновляется вновь при поступлении тары на позицию розлива. Для повышения производительности бак *1* может быть выполнен герметичным и снабжен трехходовым клапаном *10,* последовательно соединяющим бак то с источником повышенного давления, то с атмосферой. На корпусе сифонного дозатора должны быть установлены датчики *D*2 и *D*3, соединенные с системой управления. При данной конфигурации системы дозирования она будет работать в таком же режиме, как и сифонный дозатор, представленный на рис.2.26. Максимальный расход подачи жидкости обеспечивается подключением к баку высокого давления, а минимальный расход - скоростью выравнивания уровней жидкости в баке и дозаторе.

Для регулирования объема дозы сыпучих продуктов предлагается использовать мехатронные шиберные дозаторы (рис.2.29).

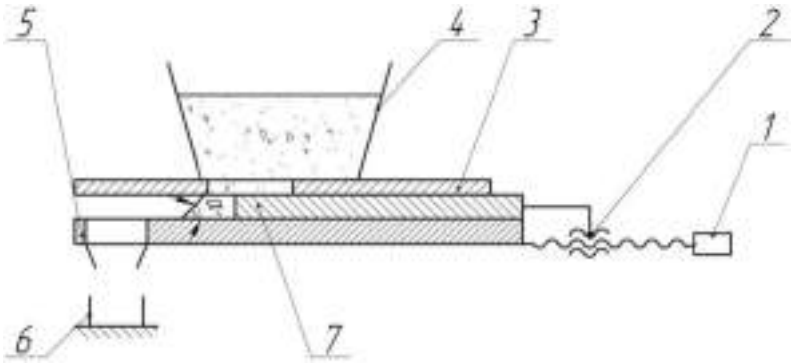


Рис. 2.29. Шиберный дозатор с цифровым управлением и регулируемым объемом дозы

В отличие от обычных дозаторов, где мерный объем физически ограничен со всех сторон, в шиберных дозаторах одна сторона мерного объема - это открытая поверхность, определяемая углом естественного откоса дозируемого сыпучего продукта. Таким образом, мерный объем ограничен плоскостью естественного откоса сыпучего продукта и торцом шибера. Изменяя расстояния между этими плоскостями, можно, используя сервопривод, программным способом регулировать объем дозы.

Для дозирования сыпучих продуктов с массой дозы более 5 гр. применяют шнековые дозаторы. Схема наиболее распространенного шнекового дозатора представлена на рис.2.30.

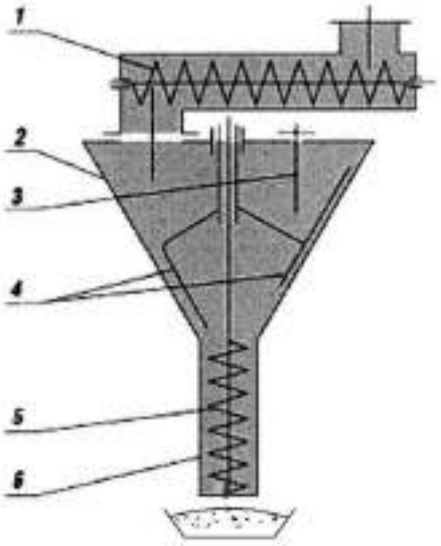


Рис.2.30.Шнековый дозатор:
1 - питающий шнек;*2- к*онический бункер; *3* - датчик уровня продукта; *4* - лопасти мешалки; *5* - Вертикальный шнек; *6* - корпус дозирующего шнека

Из конического бункера *2* вертикальным дозирующим шнеком *5* при его включении отбирается и выдается доза продукта. Выше конического бункера располагается питающий шнек *1*, обычно горизонтально расположенный. Дозируемый продукт поступает через патрубок, расположенный в корпусе этого шнека, а иногда на питающий шнек через бункер для продукта, установленный на входном патрубке. Питающий шнек периодически включается, пополняя продукт в коническом бункере. Уровень продукта в коническом бункере поддерживается датчиком *3*, от сигнала которого включается и выключается питающий шнек. В коническом бункере постоянно вращаются лопасти-мешалки *4*. Они не дают продукту слеживаться и нагнетают его на дозирующий шнек. Величина дозы определяется числом оборотов дозирующего шнека.

Весовое дозирование сыпучих и насыпных продуктов и материалов предпочтительнее применять при массе дозы более 1 кг. Весовое дозирование производится по одному из двух способов: с присыпкой или с отсыпкой.

На рис.2.31 представлена схема весового дозатора с присыпкой. Расходный бункер *1* имеет три выходных канала с тремя шиберными за-

слонками *2* - *4* для грубого, промежуточного и точного дозирования соответственно. Через направляющий конус *5* продукт поступает в тару *6*, установленную на весоизмерительной платформе *7*.

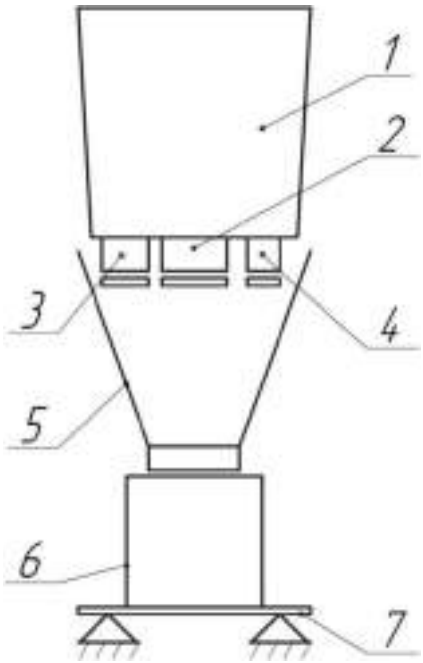


Рис. 2.31. Весовой дозатор с установкой тары на весоизмерительную платформу

Типовая временная диаграмма для данного способа дозирования представлена на рис.2.32.

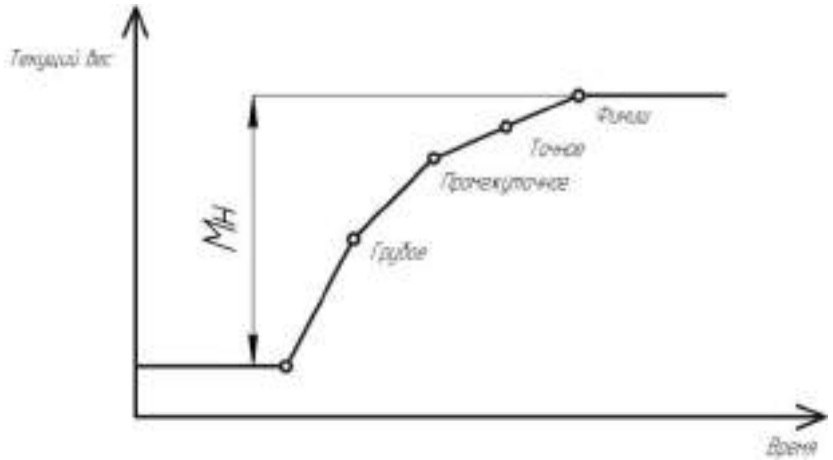


Рисунок 2.32. Типовая временная диаграмма дозирования с присыпкой

На первом этапе дозирования все три шиберные заслонки открыты. При поступлении в систему управления сигнала с тензометрического датчика весоизмерительной платформы, равного уставке, определяющей

окончание грубого дозирования, шиберная заслонка *2* закрывается (см. рис.2.31). При достижении сигналом с тензометрического датчика значения уставки, определяющей переход к точному дозированию, закрывается шиберная заслонка *3*. Закрытие шибера *4* для точного дозирования происходит при достижении веса, равного номинальной массе дозы минус масса продукта, находящегося в фазе свободного падения и не воздействующего на тензометрические датчики. Отвод заполненной тары происходит спустя заданную временную задержку, отведенную на успокоение показаний тензометрических датчиков. Поскольку окончательная масса дозы отличается от номинальной, то может быть выполнена коррекция закрытия шиберной заслонки точного дозирования, обеспечивающая допускаемую погрешность дозирования в соответствии со стандартом [10].

На рис.2.33 представлена одна из возможных схем дозирования с отсыпкой. Тензометрические датчики *1* установлены под весовым бункером *2*, объем которого незначительно превышает объем максимальной дозы. Расходный бункер *3* снабжен шиберным затвором *4*, а весовой бункер *2* - шиберами *5* и *6* грубого и точного дозирования соответственно. Тара *7* устанавливается на платформе *8* механизма подачи и отвода тары.

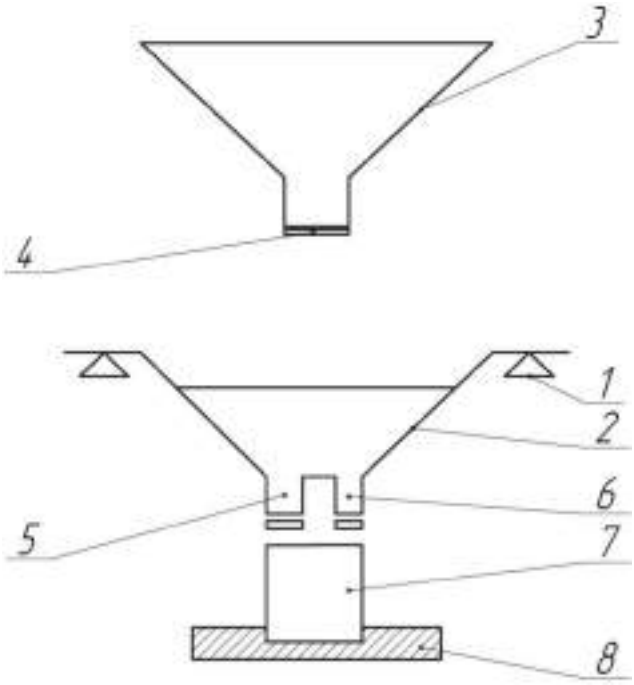


Рис.2.33. Весовой дозатор с отсыпкой

Типовая временная диаграмма дозирования с отсыпкой представлена на рис.2.34.

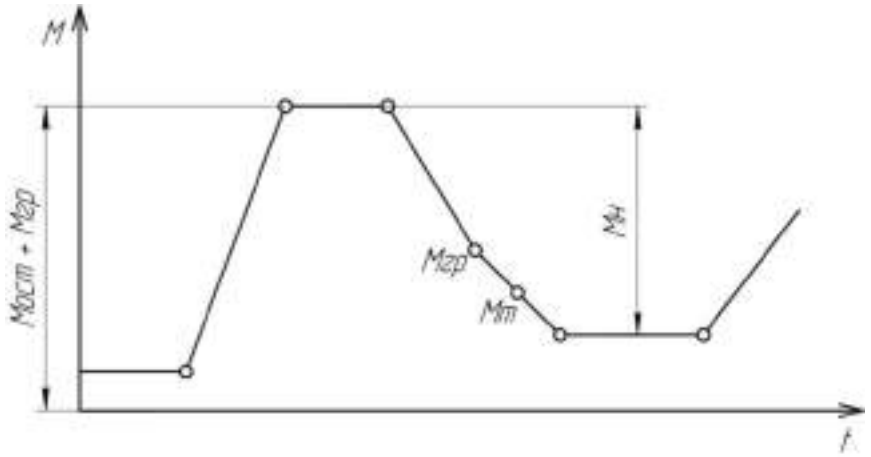


Рис. 2.34. Типовая временная диаграмма весового дозирования с отсыпкой

Процесс дозирования начинается с отсыпки сыпучего продукта из расходного бункера в весовой бункер *2*, причем шиберный затвор *4* (см. рис.2.33) закрывается в тот момент, когда сигнал с тензометрического датчика достигнет значения, соответствующего номинальной массе дозы. После закрытия шиберной заслонки масса продукта в весовом дозаторе увеличится на массу продукта, находившегося в фазе свободного падения. После временной задержки, обеспечивающей постоянство сигнала о массе продукта, находящегося в весовом бункере, система управления определяет значение сигнала, свидетельствующего об окончании процесса дозирования. Это соответствует моменту, когда масса весового бункера с продуктом уменьшится на величину номинальной дозы. На первой стадии дозирования одновременно открыты шиберные заслонки грубого и точного дозирования.

Когда сигнал с тензометрических датчиков достигнет значения соответствующего переходу к точному дозированию, шиберная заслонка грубого дозирования закрывается. Когда масса весового бункера уменьшится на величину номинальной дозы продукта, закрывается шиберная заслонка точного дозирования. Сигнал на отвод заполненной тары выдается системой управления через временную задержку, которая определяется временем падения остатков продукта после закрытия шибера тонкого дозирования.

2.4. Мехатронные мультиголовочные дозаторы

Для дозирования и фасования продуктов нерегулярной формы применяются мультиголовочные дозаторы. К продукции нерегулярной формы относятся, например, орехи, изюм, чипсы, сухари, сушки и т. д.

Пионером в разработке мультиголовочных дозаторов является японская компания *Ishida*, выпустившая на рынок первый мультиголовочный дозатор в 1972 г. Он был построен для сельскохозяйственных кооперативов Японии, которые испытывали острую потребность в упаковочной машине для фасования зеленого перца с высокой точностью. Развешивать зеленый перец вручную очень трудно, так как вес единицы продукта может варьироваться в очень широких пределах. В результате на рынок поступали пакеты либо с избытком, либо с недостатком продукта.

Новый дозатор позволил взвешивать порции зеленого перца в нескольких весовых бункерах одновременно. В процессе взвешивания компьютер вычисляет все возможные комбинации между полученными значениями и выбирает ту, которая наиболее точно соответствует заданной массе, затем содержимое бункеров, вошедших в выбранную комбинацию (дозу продукта), сбрасывается в упаковочную машину. Эта концепция произвела революцию в фасовании. Теперь продукты могли быть упакованы в тару без значительного перевеса или недовеса, при этом существенно увеличивалась не только скорость выдачи доз продукта. При больших объемах производства высокая стоимость мультиголовочного дозатора компенсируется высокой производительностью и снижением потерь от перерасхода продукции. При этом обеспечивается минимальное отклонение в массе нетто продукта каждой упаковки.

Мультиголовочные дозаторы (МГД) на российском рынке представлены следующими производителями: *Ishida* (Япония, Англия), *Cabinplant, Bilwinko* (Дания), *Yamato, Multipond* (Германия), *Elpack* (Израиль). К менее известным в России, но широко применяемым по всему миру относятся: *Universal Service* (Чехия), *Hastamat* (Германия), *Scanvaegt International A/S* (Дания). Основную долю в продажах занимает *Ishida*. Большая часть российских компаний, выпускающих фасовочное оборудование, предпочитает использовать импортные МГД. Например, компания «Таурас-Феникс»

(Санкт-Петербург) для фасовочно-упаковочного оборудования серий «Питпак» и «Пирамида» применяет мультиголовки *Ishida*. Аналогично компания «Бестром» использует дозаторы *Multipond* и т. д.

Среди отечественных фирм мультиголовки производит только «Сигнал Пак» (Екатеринбург–Москва) по лицензии испанской фирмы *ISP*. В целях повышения надежности оборудования в конструкции используются импортные комплектующие *Omron, Atmel, Mitsubishi* (электроника), *SMC, Camozzi* (пневматика), *Max Schlaterer* (узлы привода), а также законченные системы управления МГД с заданным программным обеспечением. Следует отметить, что широко используются тензодатчики российского производства. Это позволило создать автомат, не уступающий зарубежным аналогам, по приемлемой цене.

На рис.2.35 представлена условная технологическая схема МГД наиболее распространенной конструкции.

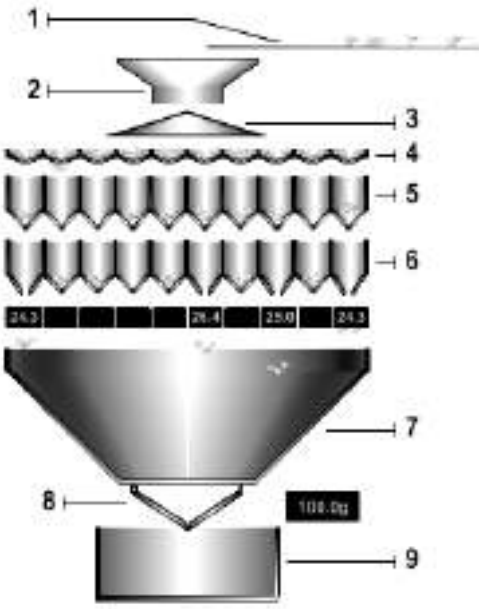


Рис. 2.35. Упрощенная схема конструкции комбинационного весового дозатора: *1* – загрузочное устройство; *2* – распределяющее устройство; *3* – подающее устройство; *4* – вибропитатели; *5* – накопительные бункеры; *6* – взвешивающие бункеры; *7* – разгрузочный бункер; *8* –синхронизирующий карман; *9* – упаковочная машина (к конструкции дозатора не относится)

Большинство мультиголовочных дозаторов построено по схеме, представленной на рис.2.36.

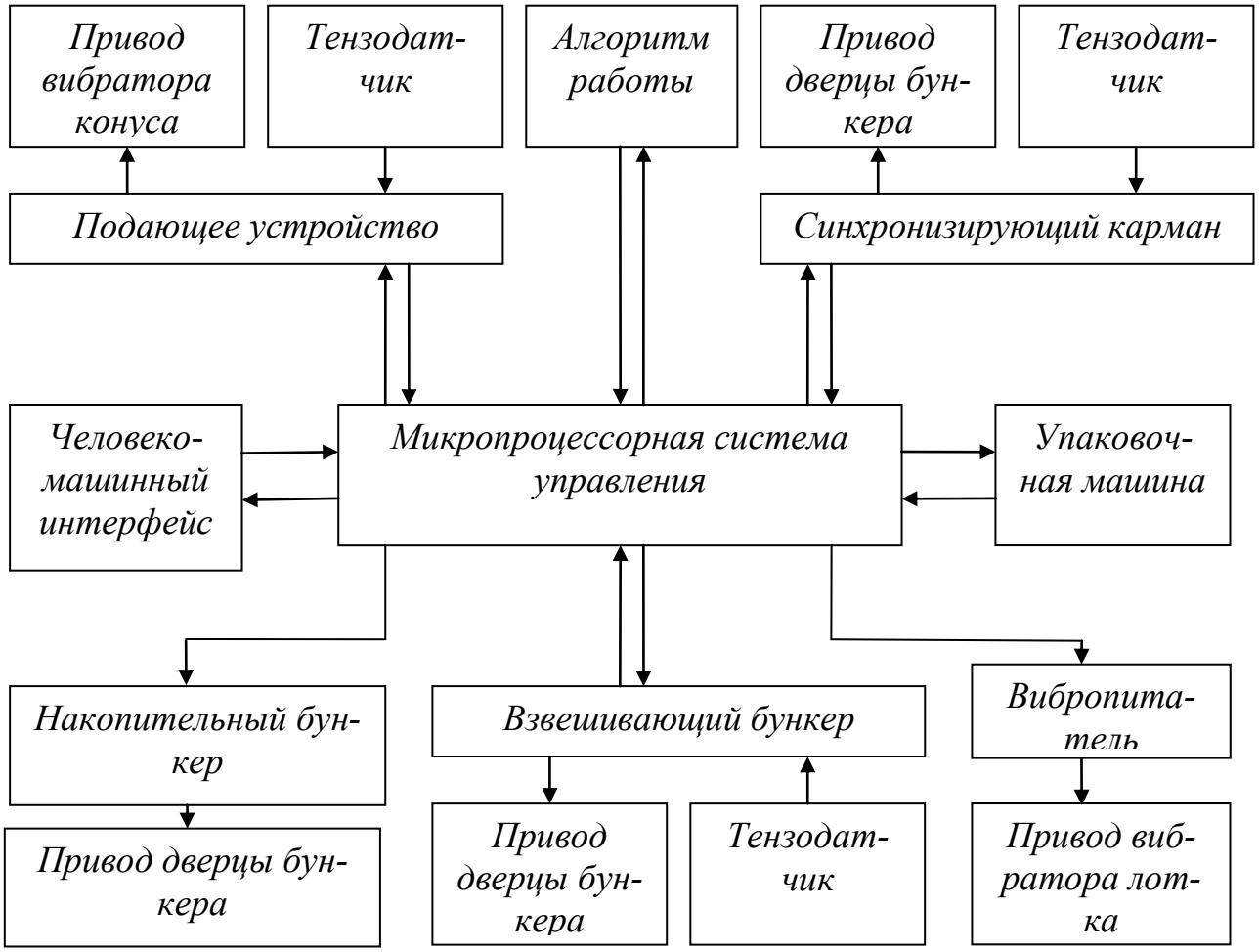


Рис.2.36. Структурная схема МГД

Микропроцессорная система управления осуществляет анализ состояния оборудования, сбор данных от датчиков, контроль работы исполнительных механизмов и на базе полученных данных управляет работой МГД. Также в задачи системы управления входят поддержание человеко-машинного интерфейса и синхронизация с внешним оборудованием. В ходе работы система управления ведет статистику основных параметров установки для самонастройки и диагностики. Весь процесс управления можно разбить на функции, каждая из которых отвечает за работу соответст-

вующего конструктивного блока, представленного на рис.2.36. Основой работы мультиголовочных дозаторов является алгоритм составления комбинаций доз. В описании почти всех существующих конструкций МГД приводится практически одинаковый принцип работы – выбор наиболее точной дозы.

Алгоритм работы определяет основные характеристики дозатора, такие как погрешность дозирования, производительность, периодичность возникновения тупиковых ситуаций, закон распределения массы дозы. Поскольку между большинством конструктивных элементов дозатора нет механической связи, весь процесс дозирования происходит по командам системы управления. Следовательно, СУ отвечает за работу каждого устройства в составе МГД, за его характеристики и регулировку.

Подающее устройство предназначено для равномерного распределения продукта по вибрационным лоткам. Выходом данного блока является сигнал весового датчика, измеряющий массу продукта, подающегося в дозатор. Входной сигнал идет к преобразователю, управляющему вибрационным устройством. Задача системы управления - поддерживать подачу продукта в МГД, равную расходу. При отсутствии продукта СУ прекращает работу устройства.

Вибропитатель подает продукт в накопительный бункер. Регулирование массы дозируемой порции осуществляется в результате изменения продолжительности и амплитуды работы привода вибратора лотка, а точные настройки – с помощью системы управления, при этом учитывается вид продукта и параметры настроек дозатора.

Накопительный бункер обеспечивает временное хранение порции продукта, поступившей из вибролотка. Хранение порции осуществляется до ее сброса в последующий весовой бункер. В результате данное устройство готово к приему следующей порции продукта. Некоторые конструкции МГД не имеют такого блока, однако необходимость установки накопительных бункеров задается требованиями к производительности МГД, так как с их помощью можно ускорить работу. Открытие/закрытие кармана чаще всего происходит в промежутки времени, которые задаются СУ и различны для разных видов продукта.

Взвешивающий бункер обеспечивает систему управления данными о массе находящейся в нем порции и обеспечивает сброс порции продукта в разгрузочный бункер. Сигнал от тензодатчика фильтруется, его показания корректируются с учетом тарировки, а также внешних возмущающих факторов. Получив значение массы порции в каждом бункере, СУ выбирает комбинацию бункеров, соответствующих выбранному алгоритму, и дает сигнал на их открытие. Так же как и в накопительном бункере, открытие/закрытие кармана происходит в определенный промежуток времени.

Синхронизирующий карман предназначен для сопряжения режима работы МГД и упаковочной машины и может открываться при получении сигнала готовности от упаковочного автомата и при наличии в нем готовой дозы. В некоторых моделях разгрузочный бункер снабжен тензодатчиком, таким образом выполняется функция контролирующего устройства.

Человеко-машинный интерфейс обеспечивает удобную для человека связь с системой управления для проведения необходимых настроек МГД, контроля работы и просмотра статистических данных за требуемый период времени.

Упаковочная машина – аппарат, принимающий и обрабатывающий дозы продукта, выдаваемые МГД. Для обеспечения синхронной совместной работы системы управления упаковочной машины и МГД связаны посредством интерфейса передачи данных

Первые МГД были линейными, но последующее увеличение числа весовых бункеров привело к необходимости расположения их вокруг общего разгрузочного бункера. Следует отметить, что, несмотря на схожесть конструкции, не стоит путать линейные МГД с обычными весовыми дозаторами с рядным расположением головок.

Однопоточный (традиционный) дозатор (рис. 2.37, *а*) предназначен для выдачи доз в одну упаковочную машину. В зависимости от управляющей программы он способен фасовать только один продукт или приготовлять смеси.

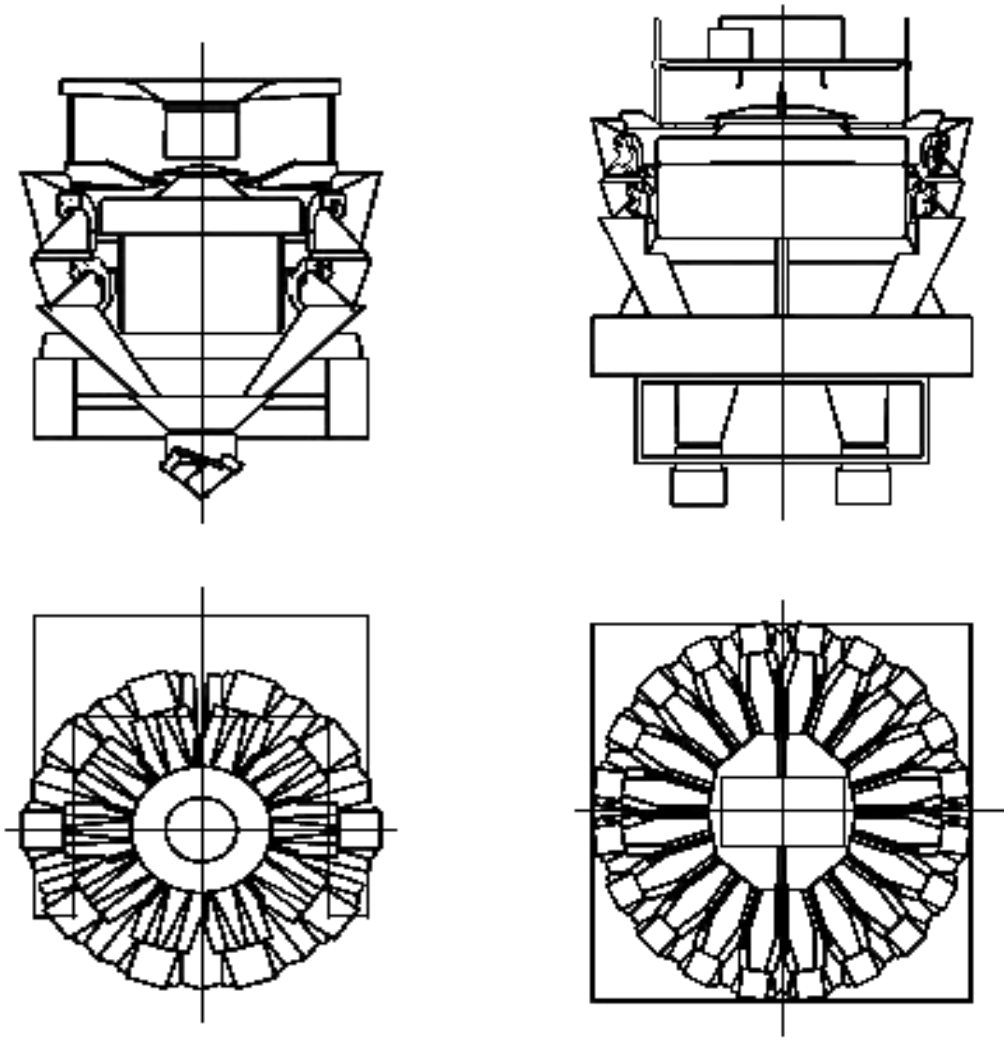


Рис.2.37. МГД с различным числом потоков дозирования: *а* - однопоточное исполнение, 10 головок; *б* - спаренное однопоточное исполнение, 20 головок

Однопоточные объединенные МГД представляют собой конструкцию из нескольких (чаще всего двух) мультиголовочных дозаторов, ячейки каждого из которых расположены на части окружности и объединены единой системой управления (рис. 2.37, *б*). Имея раздельные выходы, данная конструкция позволяет производить независимое дозирование числа продуктов по количеству выходов.

Трехкаскадный – наиболее распространенный тип МГД. В нем присутствуют (см. рис.2.35) вибропитатели *4*, промежуточные бункеры *5*, весовыех бункеры *6*.

Главное отличие двухкаскадных дозаторов от трехкаскадных – отсутствие слоя промежуточных бункеров, необходимых для синхронизации работы вибролотков и весовых бункеров. Двухкаскадный МГД (при прочих равных условиях) обладает меньшей производительностью по сравнению с трехкаскадным, но имеет более низкую стоимость.

Рассматривая такой параметр МГД, как погрешность дозирования, нельзя оценивать ее в сравнении с обычными видами фасовочного оборудования (объемные, шнековые, весовые и т. д.). В обычных схемах погрешность дозирующей системы зависит от конструктивных особенностей аппарата и характеристик продукта. Погрешность мультиголовочного дозатора определяется вычислительной системой, и выдача дозы происходит в заданных пределах. В этом заключается еще одно преимущество МГД – отсутствие брака.

Поскольку конечная масса продукта подбирается согласно управляющему алгоритму МГД, то изменение характеристик продукта напрямую не отражается на точности выдаваемых МГД доз. Но поскольку в конструкцию МГД входят отдельные весовые дозаторы, то именно их качество работы зависит от свойств продукта. Как показали исследования, чем меньше разброс массы наполнения продуктом весовых бункеров, тем стабильнее работа дозатора и меньше тупиковых ситуаций возникает во время его работы.

Таким образом, характеристики продукта оказывают влияние не на точность МГД, а только на его стабильность и скоростные характеристики.

При фасовании штучной продукции выделим ее основные характеристики:

- массу единичной штучной продукции;
- среднее квадратическое отклонение массы единицы штучной продукции;
- регулярность и нерегулярность формы продукции;
- кусковатость, характеризующуюся максимальными и минимальными размерами;
- геометрическую форму.

При разработке упаковки, назначении номинальной массы товара, выборе фасовочно-упаковочного оборудования все вышеперечисленные

характеристики должны быть учтены и согласованы с требованиями стандарта по нормам точности [9].

Примем, что в каждой упаковке с номинальной массой M находится n единиц штучной продукции с массой $m_к$.

Всю штучную продукцию можно разделить на две группы:

- с регулируемой массой;
- с нерегулируемой массой. Как правило, это штучная продукция растительного (изюм, орехи, корнеплоды) или животного (рыба, крабовое мясо и т. д.) происхождения.

Отдельная группа – чипсы. В зависимости от способа изготовления они могут как регулируемой, так и нерегулируемой массой штучной единицы продукции.

При производстве штучной продукции с регулируемой массой можно в первую очередь выбрать значение массы единицы штучной продукции, а затем последовательно назначить количество единиц n штучной продукции в упаковке и номинальное значение M.

В другом случае устанавливается номинальная масса M в упаковке и по заданному количеству единиц штучной продукции в упаковке n определяется масса единицы штучной продукции и требования к точности ее изготовления.

В обоих случаях связь между средним квадратичным отклонением массы продукции в упаковке M и средним квадратичным отклонением массы единицы штучной продукции $\sigma_{шт}$ при случайной выборке заданного числа единиц n будет определяться с помощью соотношения:

$$\sigma_M = \sqrt{N}\sigma_{шт} \tag{2.10}$$

или

$$T = 2{,}06\sqrt{\frac{M}{m_{шт}}}\sigma_{шт}. \tag{2.11}$$

Коэффициент 2,06 соответствует вероятности 0,96 выхода 2 % доз продукции за пределы допуска:

$$T = 2{,}06\sigma_M.$$

Из уравнения (2.10) получим следующее соотношение:

$$\frac{m_{шт}}{\sigma^2_{шт}} = \frac{M}{T^2},$$

где M – масса дозы; T – допуск на дозу; $m_{шт}$– масса куска продукта; $\sigma_{шт}$– дисперсия массы куска продукта.

На рис.2.38 представлен график изменения допуска T и параметра $\frac{m_{шт}}{\sigma^2_{шт}}$ в зависимости от значения номинальной массы продукции в упаковке в соответствии с требованиями стандарта.

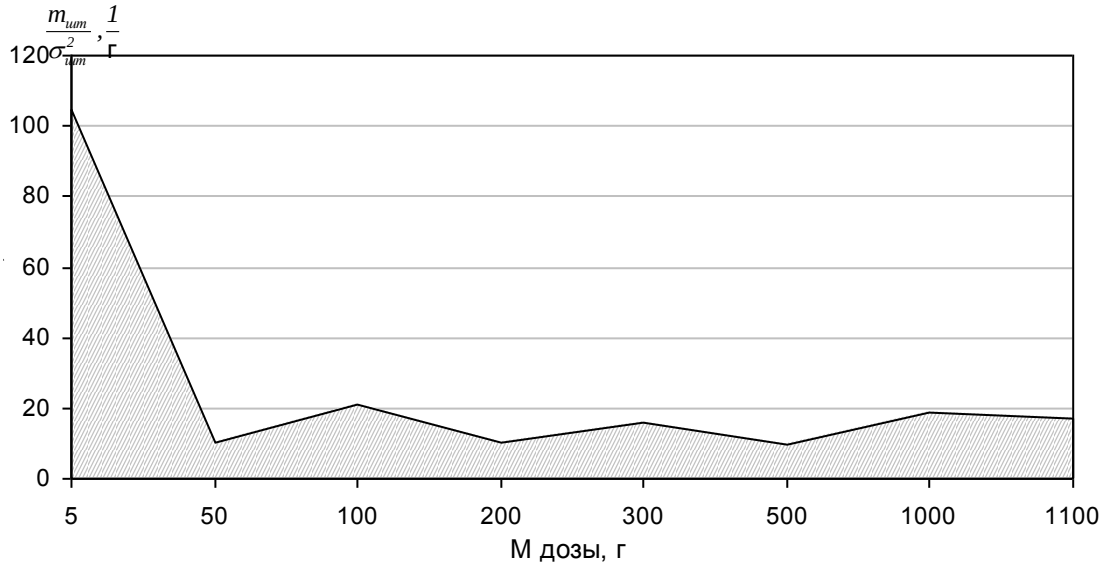


Рис.2.38. Характеристика продуктов, дозируемых только комбинационным весовым способом

Заштрихованной зоне графика (см. рис.2.38.) соответствуют продукты с характеристикой $\frac{m_{шт}}{\sigma^2_{шт}}$, которые можно дозировать только комбинационным весовым способом.

Из уравнения (2.11) следует, что если выполняется условие

$$\frac{m_{шт}}{\sigma^2_{шт}} \geq 4{,}24\frac{M}{T^2}, \qquad (2.12)$$

то при любой случайной выборке *n* единиц штучной продукции соблюдаются требования стандарта к точности дозирования и только в 2% случаев возможно, но не обязательно, появление упаковок, имеющих отклонение от номинальной массы больше допустимого.

Если соотношение основных характеристик штучной продукции лежит в пределах

$$\frac{m_{шт}}{\sigma_{шт}^2} \geq \frac{z^2 m_{шт}}{T^2},$$

то вероятность получения упакованной продукции, соответствующей требованиям стандарта, определяется интегралом вероятности

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz,$$

где

$$z = \sqrt{\frac{m_{шт} T^2}{\sigma_{шт}^2 M}} = \frac{T}{\sigma_{шт}} \sqrt{\frac{m_{шт}}{M}}.$$

получено из уравнения (2.11) в результате замены коэффициента 2,06 коэффициентом *z*.

При выполнении условия (2.12) возможен счетный принцип дозирования, в частности, для изделий правильной геометрической формы. В перспективе развитие мехатроники позволит перейти на мультиголовочные дозаторы счетного типа без взвешивания.

Однако для большинства видов штучной продукции ее разделение на заданное количество штучных единиц является неразрешимой или нерешенной задачей, поэтому применение комбинационного весового дозирования неизбежно.

Если для конкретного вида продукции неравенство (2.12) не выполняется, то единственным способом дозирования является комбинационное весовое дозирование от отдельных взвешенных штучных единиц до взвешенных порций штучных единиц.

Анализ работы показывает, что простаивающие ячейки образуются вследствие наполнения весовых бункеров массой, значительно отличающейся от заданной. Это можно объяснить тем, что при подборе наиболее точного значения массы дозы с большой вероятностью она собирается из

порций наименьшего отклонения от *m*. Остаются ячейки, масса которых имеет более высокое отклонение. Со временем их число увеличивается, и этот процесс происходит тем быстрее, чем больше среднее квадратическое отклонение массы дозы вибропитателя.

Таким образом, возникло предположение о том, что для выравнивания разброса массы продукта в ячейках необходимо принудительно использовать бункеры с наибольшей и наименьшей массой при составлении комбинаций доз. Остальные ячейки подбираются из условия попадания конечной массы в заданный диапазон. Минимально возможное количество порций равно трем, но, как показывают исследования, максимальной эффективности данного алгоритма можно достичь при числе порций в дозе от восьми до девяти.

Алгоритм управления МГД основан на выполнении нормативных требований и стандартов к количеству фасованного товара в упаковке:

- средняя масса партии упаковок не должна быть ниже номинального значения;
- масса упаковки не должна выходить за пределы, указанные на рис.2.38.

Рассмотрим алгоритм, реализующий стабильную, безостановочную работу МГД за счет обеспечения требований, полученных в результате анализа работы предыдущих алгоритмов управления:

- контроль за средней массой продукта в весовых бункерах;
- составление комбинаций доз с использованием порций продукта, имеющих наибольшее отклонение от среднего значения;
- составление комбинаций доз из различного числа порций.

Согласно этим требованиям был разработан алгоритм выбора дозы.

Алгоритмом выбора дозы, удовлетворяющим перечисленным требованиям, является многопоточное дозирование. Среди бункеров, заполненных продуктом, выбирается несколько комбинаций, не имеющих общих бункеров. Таким образом, теоретически существует возможность перехода МГД, рассчитанного для работы с одним видом продукта, на многопоточный режим дозирования продукта с другими характеристиками.

На рис. 2.39 показана модель распределения потоков продукта при многопоточном дозировании.

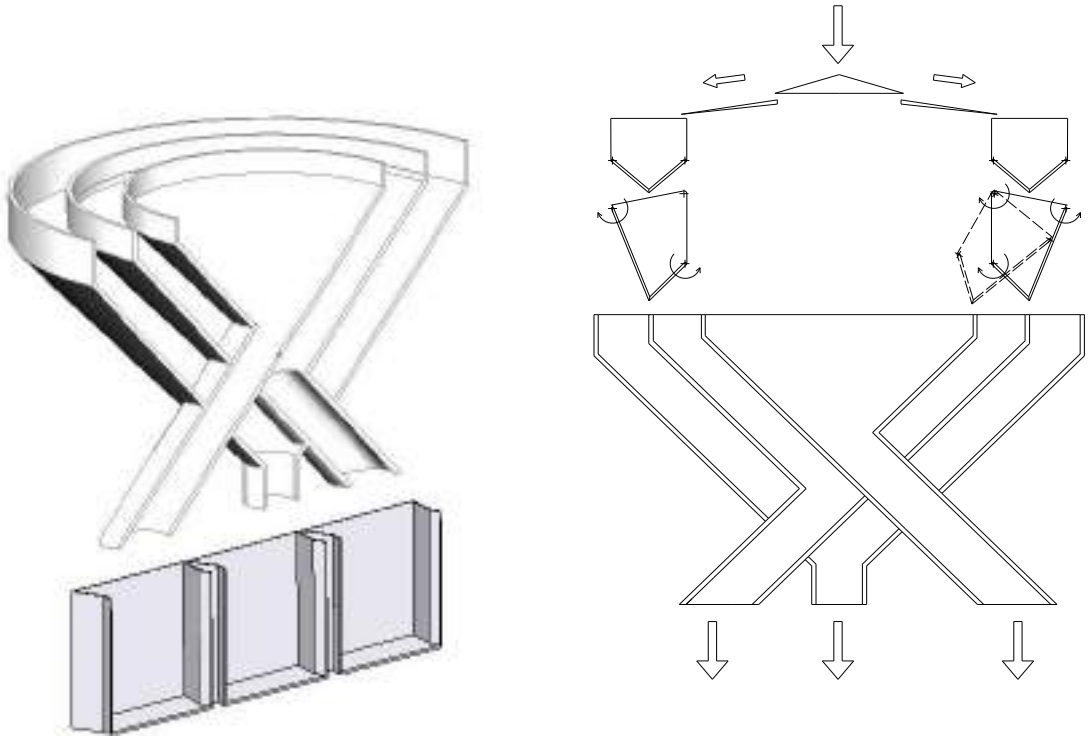


Рис.2.39. Распределение потоков продукта в трехпоточном мультиголовочном дозаторе

В соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.579–2001 рассмотрим критерии применения комбинационного весового дозирования:

$\frac{m_{шт}}{\sigma^2_{шт}} < 4{,}24\frac{M}{T^2}$ – работа МГД только в однопоточном режиме;

$\frac{m_{шт}}{\sigma^2_{шт}} \geq 4{,}24\frac{M}{T^2}$ – работа МГД в многопоточном гибком режиме, при этом возможно поддержание постоянства потока в результате комбинирования доз продукта;

$\frac{m_{шт}}{\sigma^2_{шт}} >> 4{,}24\frac{M}{T^2}$ – гарантированная работа МГД в многопоточном режиме с полной разгрузкой бункеров в каждом цикле.

Разработанный алгоритм многопоточного выбора дозы удовлетворяет требованиям, соблюдение которых обеспечит стабильную и безостановочную работу МГД:

- сброс максимально возможного количества доз одновременно;
- контроль за средней массой оставшегося продукта в весовых бункерах;
- составление комбинаций доз с использованием порций продукта, имеющих наибольшее отклонение от среднего значения;
- составление комбинаций доз из различного числа порций.

Для однопоточного МГД наилучшие результаты показал алгоритм выбора дозы с последовательной выборкой порций в порядке уменьшения отклонения их массы от среднего значения. Поэтому он взят за основу многопоточного алгоритма. Вначале выбирается доза согласно алгоритму многопоточного дозирования, затем среди оставшихся ячеек - еще одна комбинация, и так до тех пор, пока есть незадействованные ячейки и среди них возможно найти подходящую комбинацию. Блок-схема данного алгоритма представлена на рис. 2.40. Значения массы продукта в весовых бункерах дозатора записываются в массив $D[N]$, задаются значения массы порции m, дозы M и допуска на дозу ε. Далее составляется массив $H[i]$, в котором содержатся индексы $D[N]$, затем производится его сортировка в порядке уменьшения значения $|D[H[i]]-m|$.

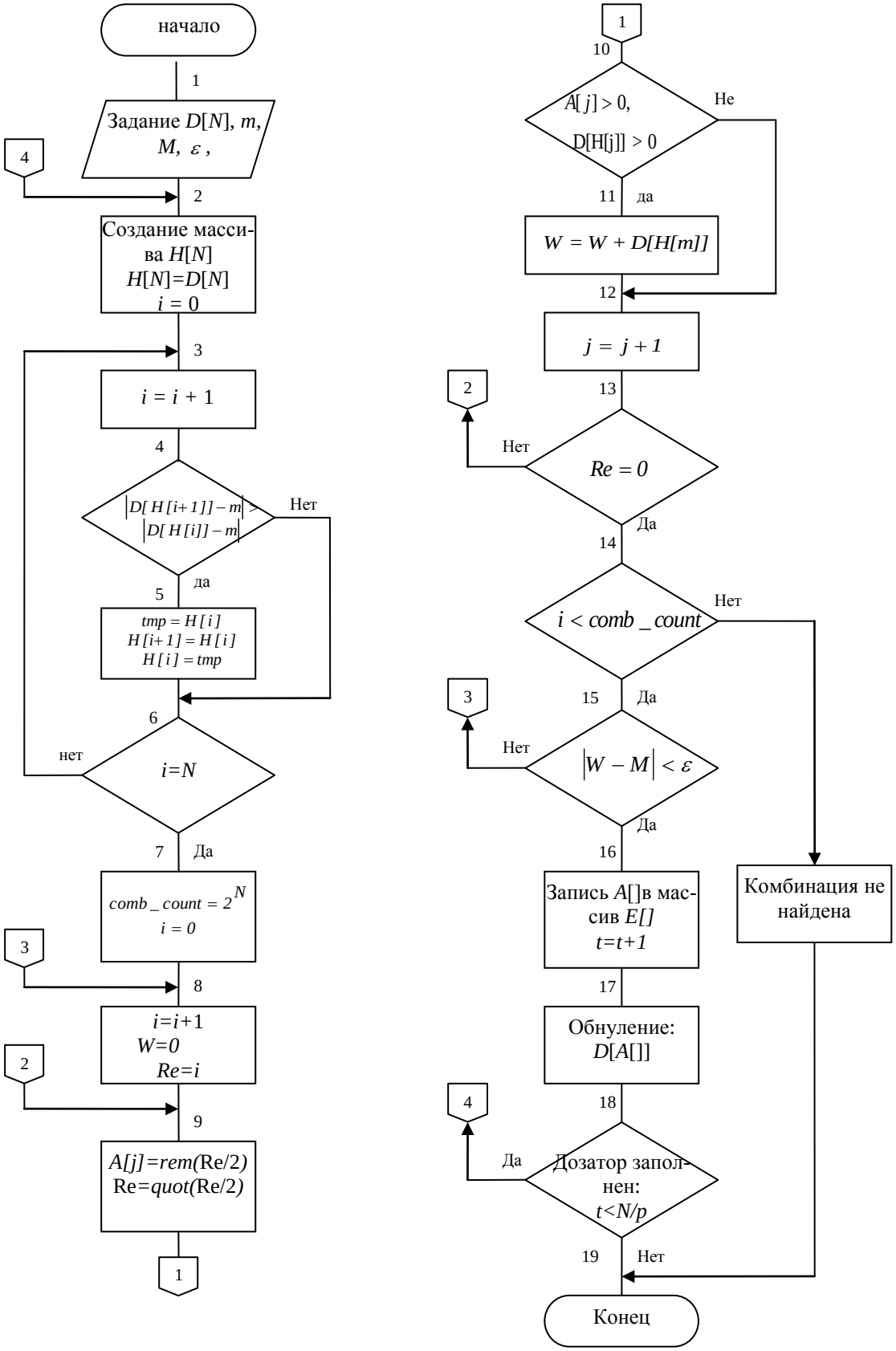


Рис.2.40. Блок-схема многопоточного алгоритма последовательной выборки порций в порядке уменьшения отклонения их массы

В массиве $H[N]$ находятся отсортированные в порядке уменьшения отклонения массы продукта в бункере от заданного значения номера ячеек. Вычисляется количество всех возможных комбинаций. Далее организуется процесс, в котором последовательно перебираются все возможные комбинации. Этот перебор организован таким образом, чтобы в первую очередь рассмотреть комбинацию, состоящую из ячеек, номера которых находятся в начале списка $H[N]$. Такой массив отсортирован в порядке уменьшения отклонения массы продукта в бункерах.

Первая комбинация порций, та суммарная масса которой находится в пределах (-ε, ε). Таким образом, при составлении комбинаций преимущество отдается ячейкам с большим отклонением массы. В итоге после сброса дозы масса продукта в бункерах выравнивается, приближаясь к среднему значению.

Поскольку масса оставшихся (N - p)-ячеек имеет меньшую дисперсию, чем первоначальные N ячеек, вероятность подбора еще одной комбинации остается на достаточно высоком уровне. После сброса последней дозы проверяется наличие достаточного количества продукта в дозаторе, и если это так, то поиск комбинации производится заново с поправкой на уже выбранные ячейки.

Подобный алгоритм выбора дозы может привести к некоторому различию в характеристиках распределения массы дозы для разных потоков в зависимости от продукта. Однако масса каждой дозы находится в заданном диапазоне, а ее среднее значение близко к заданному, следовательно, результаты работы МГД должны удовлетворять нормативным требованиям.

Глава 3.
МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Приборостроение – отрасль промышленности, предметом производства которой являются элементы информационно-измерительных и управляющих систем (ИИУС). Принципы мехатроники широко используются как в оборудовании для производства ИИУС, так и в них самих.

3.1. Особенности автоматизированного производства в приборостроении

Часто кроме термина «прибор» употребляют термин «аппарат». Эти близкие термины различают следующим образом. *Прибор* – устройство, предназначенное для измерения и преобразования параметров физических процессов (рис. 3.1, *а*). *Аппарат* – устройство, предназначенное для осуществления физического процесса на объект либо в целях получения какого-либо эффекта, либо для измерения (рис. 3.1, *б*). Такое различие в терминах чаще встречается в медицинском приборостроении.

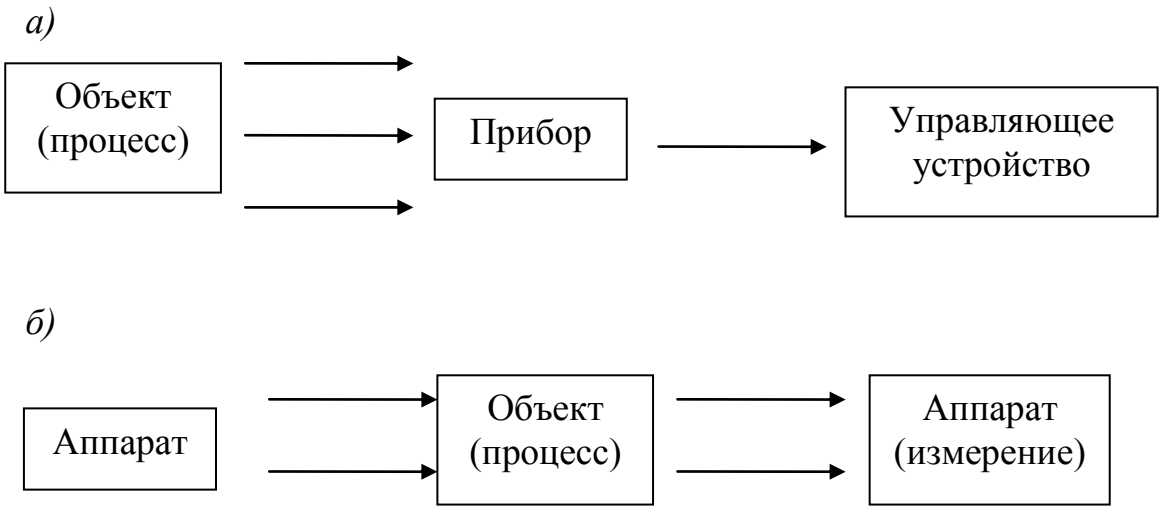


Рис. 3.1. Использование прибора и аппарата

К приборам и их элементам можно отнести навигационные приборы, высотомеры, сейсмографы, дозиметры, реле, полупроводниковые элементы, микросхемы и т. д., к аппаратам – рентгеновские аппараты, осуществляющие воздействие на объект рентгеновскими лучами для получения информации о внутреннем строении объекта, томографы, основанные на эф-

фекте ядерно-магнитного резонанса, ультразвуковые дефектоскопы и медицинские ультразвуковые сканеры, спектрометры, в которых происходит нагревание исследуемого объекта, аппараты искусственной вентиляции легких, аппарат «искусственная почка» и т. д.

Когда мы говорим о приборостроении, то подразумеваем два объекта: собственно приборы или аппараты и их элементы (т. е. изделия приборостроения) и средства для производства приборов и аппаратов. Пример: как средство производства – электронное машиностроение (оборудование для производства электронной техники), как изделие – электроника, микроэлектроника, оптоэлектроника и т. д.

Приборы можно классифицировать и по назначению; например: авионика, медицинская техника, спец. приборы (приборы военного назначения: детонаторы, «жучки» и т. д.).

Для каждой области применения приборов существуют свои специфические требования. К основным технико-конструктивным требованиям можно отнести:

1. Обеспечение заданных техническим заданием характеристик и параметров приборов.
2. Обеспечение рациональных габаритных размеров, объема, массы прибора.
3. Удобство доступа для регулирования, ремонта и осмотра.
4. Предотвращение выхода из строя прибора при неправильном подключении, нештатных условиях работы.
5. Защита от внешних помех, наводок, предотвращение внутренних наводок и излучения помех во внешнее пространство.
6. Обеспечение требуемого температурного режима работы элементов прибора.
7. Обеспечение требуемого давления и влажности внутри прибора.
8. Прочность и долговечность конструкции прибора.
9. Удобство транспортирования и погрузки.
10. Оперативность обслуживания (сокращение времени на подготовку к работе).
11. Безопасность обслуживания.
12. Обеспечение длительного хранения.

Приведенные требования не обязательно должны все сразу выполняться для отдельного прибора.

3.2. Современные технико-экономические требования в приборостроении

Мехатронные системы позволяют с высокой эффективностью удовлетворять высоким специфичным требованиям производства в приборостроении.

Основное требование – повышение производительности приборостроительного оборудования. Однако в приборостроении с точки зрения объема производства существует два направления. При массовом производстве приборов и их элементов, несомненно, нужна высокая производительность, при этом номенклатура остается постоянной. При единичном и опытном производстве производительность оборудования отходит на второй план, главное – гибкость производства, возможность изменения параметров и структуры приборов, производимых на данном оборудовании.

Следующим требованием в приборостроении является надежность работы оборудования: необходимо обеспечить максимально возможный выход годных изделий. Это достигается *постоянством параметров технологического процесса*, особенно для полупроводниковых приборов. Необходимо отметить такое требование, как *помехозащищенность оборудования*. При усложнении технологических процессов уровень автоматизации и управления и компактность оборудования повышается, поэтому помехозащищенность является важнейшим фактором повышения надежности.

Возможность модернизации оборудования при минимальных сроках остановки оборудования на модернизацию достигается за счет модульности и унификации оборудования.

Повышение гибкости управления и настройки оборудования позволяет уменьшить время остановки оборудования.

Компактность оборудования – общее требование для многих областей применения в приборостроении.

Высокие требования по экологии оборудования также являются важнейшим фактором производства приборов, так как в приборостроении часто используются высокотоксичные химические вещества.

Комплексный фактор – экономичность оборудования, в том числе сокращение обслуживающего персонала и снижение уровня подготовки персонала.

Технологические процессы в приборостроении характеризуются большим разнообразием по применению физических и химических воздействий на объекты производства, сложностью и многоступенчатостью технологического процесса. В приборостроении требуется тщательное согласование и соблюдение последовательности операций. Накладываются высокие требования к подготовке заготовок (например, обезжиривание), чистоте рабочих помещений, удалению побочных продуктов технологического процесса. В связи с такими требованиями и особенностями приборостроения необходимы многоуровневые иерархические системы управления оборудованием и производством в целом.

Промышленный робот (ПР) как средство автоматизации в приборостроении имеет специфику, связанную со сложностью технологических процессов. Сравним области применения ПР в машиностроении и приборостроении. Приведем роботизированные технологические операции в машиностроении:

Область машиностроения	**Доля роботизации, %**
Загрузка и разгрузка станков	8
Технологические работы	80
Погрузочно-разгрузочные работы	5
Сборочные операции (механические)	5
Контрольно-измерительные работы	0,5

Другие, менее распространенные, но перспективные области применения ПР - упаковка, уборка мусора, заправка автомашин топливом, сельскохозяйственные роботы.

Приведем роботизированные технологические операции в приборостроении:

Область приборостроения	**Доля роботизации, %**
Сборка, монтаж и технологические работы (сварка, окраска)	38
Механообработка	25
Очистка, промывка изделия	15
Упаковывание, укладка	12
Контрольно-измерительные работы	6

В приборостроении наиболее перспективные области применения роботов:

технологические роботы:

- установка электронных компонентов на печатные платы;
- сборка механических приборов и их элементов;
- сварка и пайка элементов приборов;
- прокладка проводов и жгутов;
- лазерная резка (лазерный раскрой материалов);
- покраска и нанесение покрытий приборов;

измерительные роботы:

- точные измерения геометрических параметров сложных корпусов машин;
- измерение электрических параметров электронных схем;
- измерение параметров микро- и нанорельефа образцов материалов.

В медицине и в биологии для исследования и лечения используются:

микроманипуляторы:

- при измерении физико-химических и биологических параметров на клеточном уровне;
- в микрохирургии мозга и в офтальмологии;
- в генной инженерии;

мобильные микророботы:

- для внутрисосудистой диагностики и диагностики полых органов;
- при микрооперациях и доставке микродоз лекарств;

манипуляционные системы:

- в хирургии;

- для автоматизация медицинских лабораторных анализов;
- в экстракорпоральной литотрипсии;
- для массажа;
- при обслуживании больных;
- в качестве экзоскелетонов.

Анализ этих направлений показывает, что обеспечение качества выполнения столь сложных манипуляционных операций возможно только при применении мехатронных принципов построения данных автоматических устройств.

3.3. Применение мехатронных систем в нанотехнологиях

Одним из бурно развивающихся направлений приборостроения является сканирующая зондовая микроскопия, которая используется при изучении свойств материалов на уровне нанометров (10^{-9} м). Исследования в этом диапазоне размеров проводились при помощи электронных микроскопов начиная с 50-х г. XX в. Такое оборудование было очень дорогим и громоздким, кроме того, требовало хорошей подготовки исследуемых образцов.

В 80-х г. электронная промышленность развивалась очень быстро, поэтому требовались новые скоростные методы исследования полупроводниковых материалов, которые были бы не так затратны. Мехатронные системы получили распространение в этой области с самого начала их применения, так как без интегрированного синергетического объединения электромеханических и сенсорных элементов, управляемых компьютером с мощным программным обеспечением, невозможно организовать производство.

В 1981 г. Г. Биннинг и Г. Рорер (Швейцария) создали сканирующий зондовый микроскоп, предназначенный для исследования рельефа наноструктур (в 1986 г. они получили Нобелевскую премию по физике). В нем используется трехкоординатная микроманипуляционная система на базе пьезоэлектрических приводов.

Как известно из классической физики, в вакууме между двумя проводниками, подключенными к источнику напряжения, ток отсутствует. Однако в теории квантовой физики существует вероятность перехода элек-

тронов через потенциальный барьер, определяемый работой выхода электронов из материала проводников. Эта вероятность тем выше, чем больше напряженность электрического поля и меньше расстояние между проводниками. Таким образом, при определенных условиях между близко расположенными проводниками или полупроводниками (примерно 1 нм) может возникнуть электрический ток, называемый туннельным:

$$I_{\text{т}} \approx I_0 \, exp(-kz), \tag{3.1}$$

где $k = \frac{4\pi}{h}\sqrt{m\varphi}$; m – масса электрона; φ – работа выхода электрона имеет $\varphi \approx 4$ еВ; h – постоянная Планка; I_0 – постоянное значение тока, зависящего от приложенного напряжения V; z – минимальное расстояние между проводниками.

При указанных параметрах коэффициент $k \approx 2 \cdot 10^{10}$ 1/м, поэтому при сближении проводников на 0,1 нм туннельный ток меняется на один порядок. В туннельном зондовом микроскопе (рис. 3.2) на зонд подается напряжение около 1 В. В цепи зонд – образец – источник напряжения появляется ток примерно 0,1 нА.

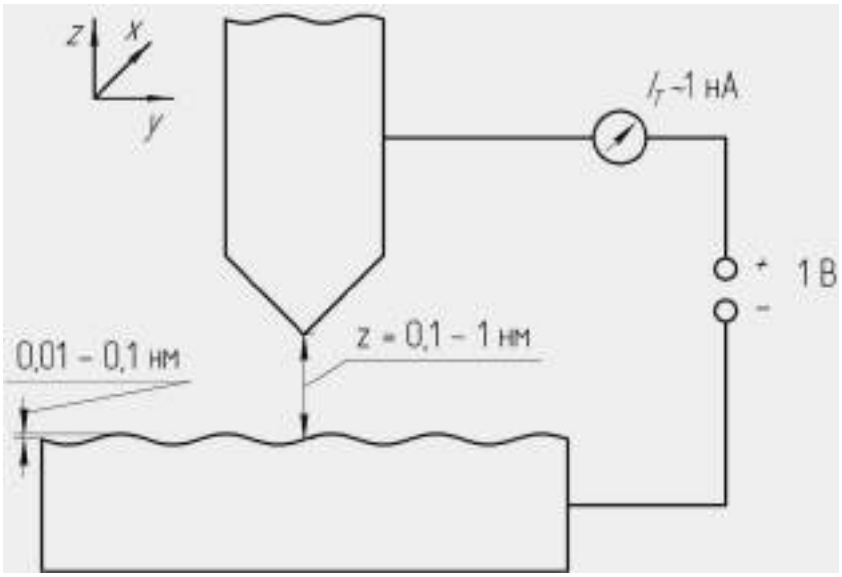


Рис. 3.2. Схема работы туннельного микроскопа

Таким образом, под действием напряжения электроны преодолевают энергетический барьер и переходят с поверхности образца на острие зонда.

Рассматриваемый процесс происходит в вакууме. Однако если расстояние между зондом и образцом намного меньше длины свободного пробега молекул воздуха, то можно считать, что туннелирование происходит в вакууме. При нормальных условиях средняя длина свободного пробега около 30 нм, поэтому при расстоянии между поверхностями менее 1 нм можно считать, что процесс происходит в вакууме.

Определяя туннельный ток при сканировании зонда по осям *x* и *y*, можно с помощью формулы (3.1) определить рельеф поверхности и измерить координаты *z* образца.

Следящая система управления микроманипулятора по оси z. Для точного перемещения зонда по осям *x, y, z* необходим трехкоординатный привод, обеспечивающий разрешение (и погрешность позиционирования) зонда примерно 0,01 нм. Такую манипуляционную систему можно выполнить при помощи пьезоэлектрических актюаторов (приводов).

Рассмотрим систему управления микроманипулятора, рабочим органом которого служит зонд туннельного микроскопа, при отработке движений по оси *z* (рис. 3.3). Зонд перемещается по осям *x, y, z* при помощи пьезоприводов $ПД_x$, $ПД_y$ и $ПД_z$. Грубая подача образца к зонду и фиксация его по оси *z* осуществляются при помощи пьезопривода столика $ПД_{ст\ z}$. Условно напряжение *U* между зондом и образцом задается и регулируется при помощи потенциометра. Туннельный ток $I_т$ регистрируется при помощи падения напряжения на нагрузочном резисторе *R* вольтметром *V*:

$$U = I_Т R .$$

При помощи приводов $ПД_x$ и $ПД_y$ осуществляется построчное сканирование зонда в плоскости *xy*. В памяти компьютера записываются значения x_i, y_i, z_i , где *i* – номер точки сканирования, z_i вычисляется по формуле (3.1). Такой режим работы применяют при исследовании атомарно - гладких поверхностей регулярной структуры. При этом скорость сканирования высокая, поэтому изменения рельефа поверхности образца можно изучать в реальном времени.

При режиме с постоянным значением $I_Т$ применяют обратную связь по $I_Т$. При этом ключ *k* замкнут и на пьезопривод поступает сигнал $U_{ДПz} = k(I_{Т\ зад} - I_Т)$ от дифференциального усилителя (ДУ),

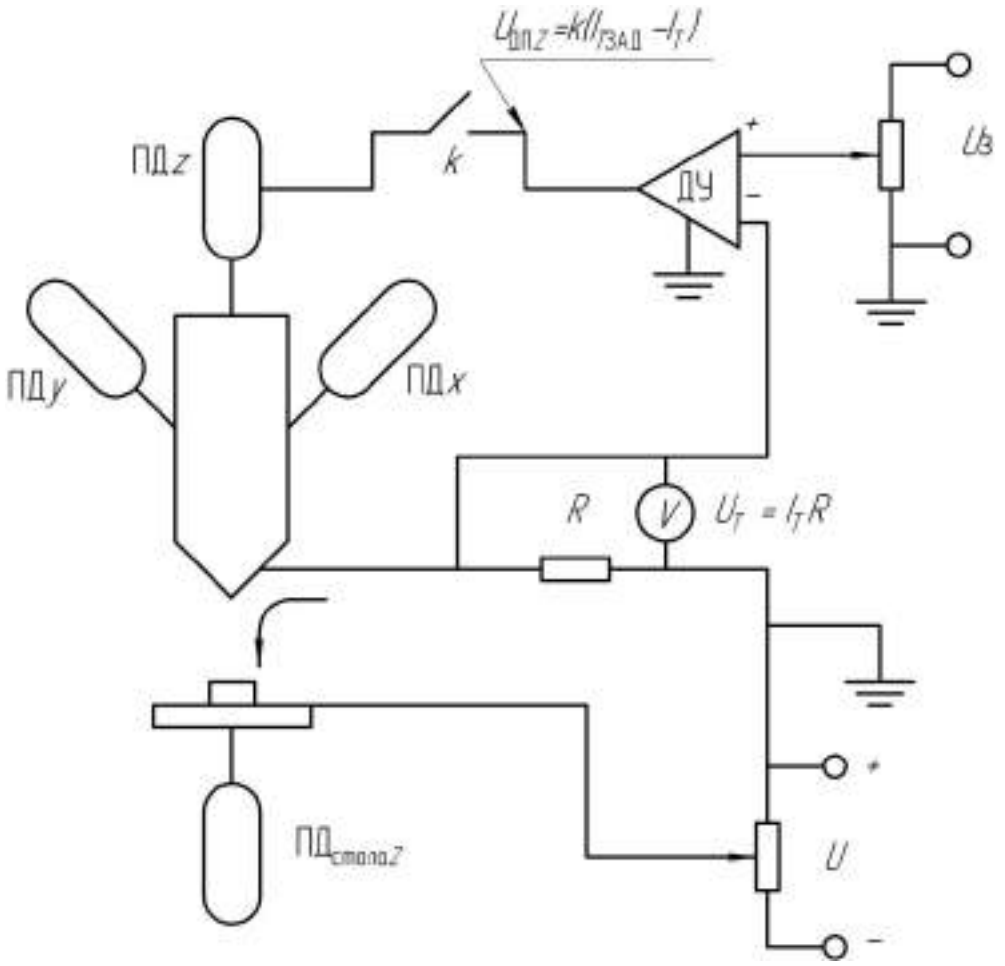


Рис. 3.3. Система управления микроманипулятора зондового микроскопа по оси *z*

пропорциональный разности текущего значения $I_{\text{Т}}$ и заданного значения туннельного тока, выставляемого при помощи потенциометра с напряжением $U_{\text{Э}}$. В память компьютера записывается значение управляющего напряжения $U_{\text{ДПz}}$, которое пропорционально координате *z* рельфа поверхности образца.

Конструкция микроманипулятора туннельного микроскопа. Трехкоординатный микроманипулятор туннельного микроскопа (рис. 3.4) выполнен в виде пьезоэлектрической трубки *1* с внешним диаметром примерно 10 мм, толщиной стенок 1 мм и длиной 32 мм. На внутреннюю образующую поверхность нанесен серебряный электрод *2* (электрод «земля»). Электрод наружной образующей поверхности разделен на две части: в нижней части располагается кольцевой электрод z_0, а в верхней части расположены четыре одинаковых электрода x_1, x_2, y_1, y_2. Электроды x_2, y_2 расположены с противоположной стороны и на рисунке не показаны.

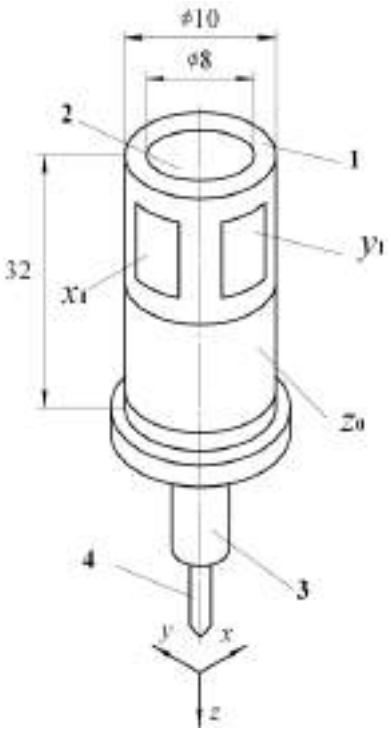


Рис. 3.4. Конструкция микроманипулятора

К нижнему торцу трубки прикреплен сапфировый фланец *3*, имеющий высокое омическое сопротивление. На нем установлен зонд *4*, выполненный в виде тонкой иглы из вольфрама или платиноиридиевого сплава. Верхний торец пьезоэлектрической трубки *1* закреплен на основании (на рисунке крепление не показано).

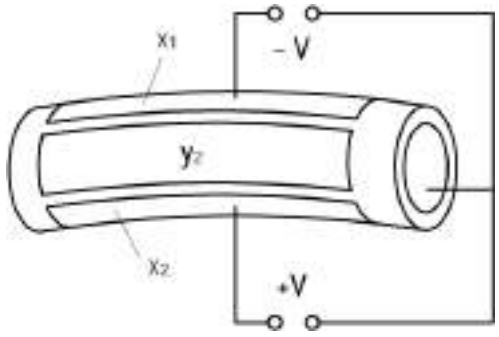


Рис. 3.5. Изгиб пьезоэлектрической трубки при подаче разноименного напряжения на противоположные электроды

При подаче разноименного напряжения $+V$ и $-V$ на противоположные электроды, например, на x_1, x_2, пьезоэлектрическая трубка будет изгибаться в плоскости xy (рис.3.5). Поэтому траектория движения конца иглы зонда будет почти прямой линией вдоль оси x.

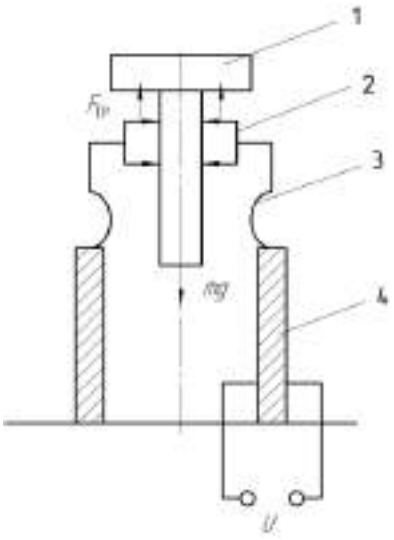


Рис. 3.6. Схема шагового пьезоэлектрического двигателя

При подаче напряжения на электрод z_0 пьезоэлектрическая трубка будет либо вытягиваться по оси *z*, либо сокращаться. Таким образом, в конструкции пьзоэлектрического микроманипулятора проявляются принципы мехатроники: упрощение механической части системы и перераспределение функций с механической части на систему управления. Для осуществления подачи столика с образцом в зону действия зонда применяется пьезоэлектрический шаговый двигатель (ПШД). При минимальном шаге 1 нм высота подъема столика 10 – 20мм (рис. 3.6).

ПШД состоит из столика со стержнем *1*, скользящих контактов *2*, плоских пружин *3* и пьезоэлектрического актюатора *4*, выполненного в виде пьезоэлектрической трубки с электродами на образующих поверхностях, на которые подается управляющее напряжение U по пилообразному закону (рис. 3.7), причем на линейном восходящем участке $\ddot{U} \approx 0$, поэтому движение столика вверх осуществляется без проскальзывания, т. е. $F_{mp} > mg$, где m – масса столика с образцом. На нисходящем участке зависимости напряжения от времени $\ddot{U} > 0$, причем напряжение должно быть таким, чтобы происходило проскальзывание скользящих контактов *2* относительно стержня столика *1* (см. рис.3.6). Регулировка скорости и шага осуществляется в результате изменения амплитуды U_1 и периода t. Движение столика по оси *z* будет происходить ступенчато (рис. 3.8).

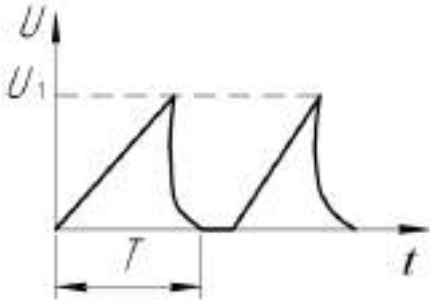


Рис. 3.7. Временная диаграмма подачи напряжения

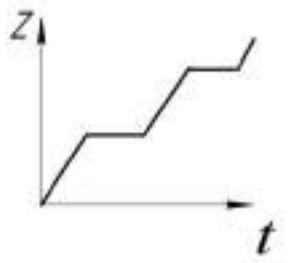


Рис. 3.8. Временная диаграмма перемещения столика

Аналогично осуществляется движение столика вниз, меняется только полярность напряжения U .

Виброизоляция зондового сканирующего микроскопа. Для уменьшения влияния внешних вибраций на работу микроскопа необходимо обеспечить его виброизоляцию, для чего применяют два метода виброизоляции: пассивную и активную.

В первом случае система очень простая, однако обеспечивает виброзащиту только в узком диапазоне вибраций. Рассмотрим принцип ее действия. Зондовый микроскоп в упрощенном варианте – это одномассовая колебательная система, состоящая из массы m и упругости (пружин) с коэффициентом жесткости k (рис.3.9).

Внешние вибрации передаются через основание, которое колеблется с амплитудой ξ_0, в зависимости от соотношения m и k амплитуда колебаний массы (зондового микроскопа) ξ_c будет меняться. Максимальная амплитуда наблюдается при совпадении частоты вибраций с собственной частотой колебательной системы:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Таким образом, чем спектр внешних вибраций находится дальше от собственной частоты ω_0, тем меньше амплитуда вынужденных колебаний микроскопа (рис.3.10).

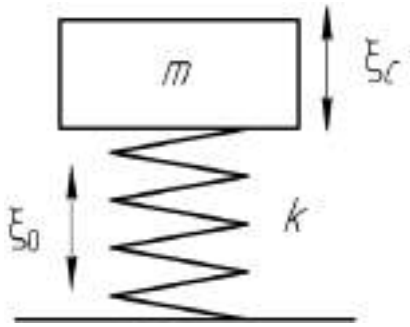


Рис. 3.9. Одномассовая модель колебательной системы зондового микроскопа



Рис. 3.10. Амплитудно-частотная характеристика одномассовой колебательной системы

Пассивная виброзащита эффективна, если $\omega_0 << \omega_{в.в}$. На практике спектр частот внешних вибраций обычно лежит в пределах 30 – 50 Гц. Пусть собственная частота колебательной системы $\omega_0 = 2\pi f_0$, где $f_0 = 1$ Гц. В статике вес микроскопа уравновешен силами упругости пружин, на которых он располагается.

$$mg = \Delta lk,$$

где Δl – перемещение концов пружин.

Проведя ряд преобразований, получим

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m}; m = \frac{\Delta lk}{g} \Rightarrow \omega_0^2 = \frac{kg}{\Delta lk} \Rightarrow \Delta l = \frac{g}{\omega_0^2} \approx \frac{0.25}{f_0^2}\,[м].$$

Таким образом, чтобы получить $f_0 = 1$ Гц, необходимо иметь пружины со статической деформацией примерно 250 мм, на которых установлен сканирующий микроскоп. Это очень мягкая пружина. Если $f_0 = 5$ Гц, то деформация составит 10 мм, что конструктивно приемлемо.

Активная защита от вибраций предполагает наличие специального источника вибраций, которые должны возбуждаться в противофазе с внешними вибрациями, а их амплитуды должны быть равны.

На рис. 3.11 изображена схема активной виброзащиты с использованием пьезоэлектрических актюаторов, выполняющих функцию опор микроскопа.

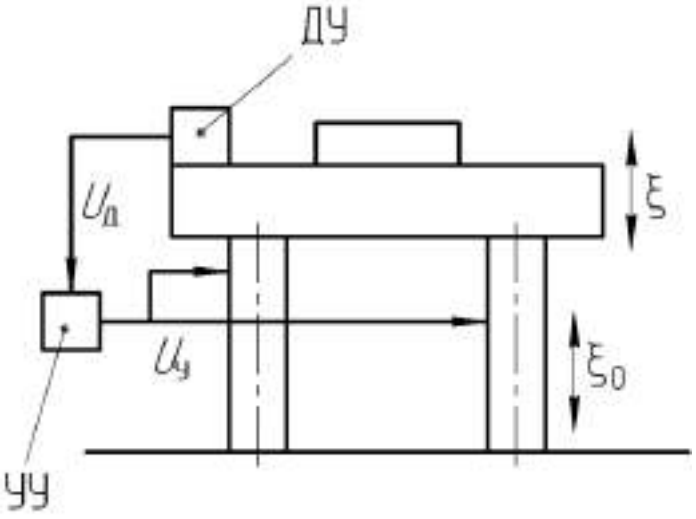


Рис. 3.11. Система активной виброзащиты

Микроскоп расположен на платформе, которая установлена на четырех опорах – столбиках, выполненных из пьезокерамических шайб. На платформе расположен датчик ускорений (ДУ), сигнал от которого поступает на устройство управления (УУ).

Пусть основание колеблется по гармоническому закону $\xi_0 = \xi_{0max} \cos\omega$. Эти колебания передаются на платформу в виде $\xi = \xi_{max} \cos\omega t$. Тогда ускорение платформы имеет вид $\ddot{\xi} = -\xi_{max}\omega^2 \cos\omega t$. ДУ вырабатывает электрический сигнал, пропорциональный ускорению платформы:

$$U_\partial = k_\partial \ddot{\xi}.$$

Этот сигнал инвертируется и усиливается, далее он подается на пьезоактюаторы в противофазе с внешними вибрациями.

$$U_y = -k_\partial k_y \ddot{\xi}.$$

Пьезоактюаторы вырабатывают колебания ξ_y, пропорциональные U_y. В результате суммарные колебания платформы близки нулю:

$$\xi_\Sigma = \xi + \xi_y = 0.$$

Применение как пассивного, так и активного методов виброзащиты позволяет повысить точность измерения рельефа поверхности образца.

Система управления зондового сканирующего микроскопа. Система управления туннельного зондового сканирующего микроскопа состоит из двух подсистем: персональный компьютер (ПК) и аналого-цифровой блок (рис. 3.12). Объекты управления - пьезоэлектрический микроманипулятор с тремя степенями свободы и столик с исследуемым образцом, имеющий одну степень свободы. Таким образом, необходимо иметь четыре канала управления аналоговыми электромеханическими преобразователями. Кроме этого, режим исследования задается вручную при помощи напряжения между образцом и зондом. Для управления по пяти аналоговым каналам необходимы цифроаналоговые преобразователи: двухканальные ЦАП$_x$, ЦАП$_y$ – для управления сканированием по осям *x* и *y*, одноканальные ЦАП$_I$ – для задания туннельного тока в режиме с обратной связью; ЦАП$_U$ – для задания напряжения на туннельном промежутке и ЦАП$_{шz}$ – для шагового пьезодвигателя столика.

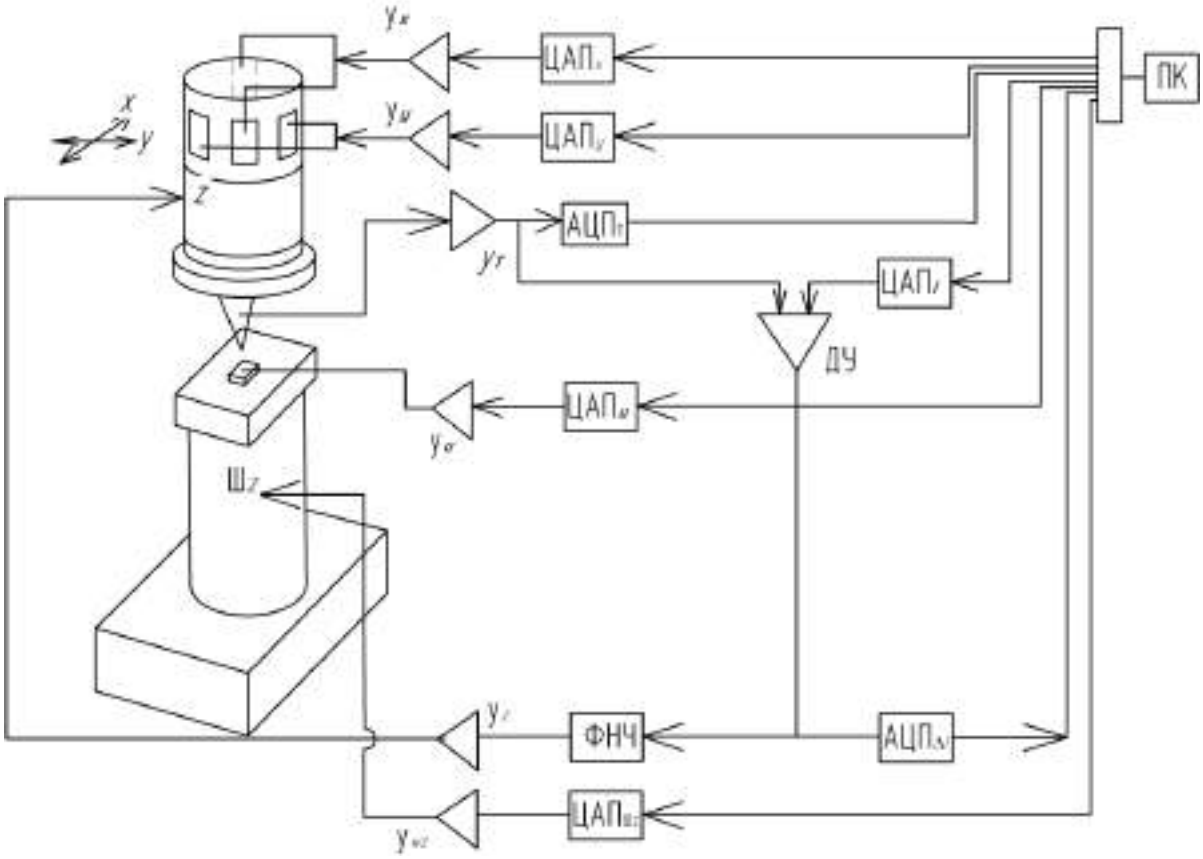


Рис. 3.12. Система управления зондового сканирующего микроскопа

Для всех каналов управления необходимы усилители аналоговых сигналов, исходящих от ЦАП: двухканальные $У_x$, $У_y$ – для управления сканированием по осям x и y; одноканальные $У_z$, $У_u$, $У_{шz}$ – для управления по оси z напряжения на туннельном промежутке и шаговым двигателем столика. Усилитель $У_m$, используемый для усиления сигнала туннельного тока, находится рядом с зондом, так как необходимо усиливать чрезвычайно малые сигналы, на которые могут наложиться помехи.

Аналого-цифровые преобразователи служат для приема и преобразования информационных сигналов: $АЦП_I$ – для туннельного тока; $АЦП_{\Delta I}$ – для разностного сигнала ΔI между заданным туннельным током и текущим его значением, поступающего с дифференциального усилителя (ДУ), сигнал ΔI для определения координаты z рельефа исследуемой поверхности образца, а низкочастотный фильтр (ФНЧ) – для фильтрации низкочастотных помех и наводок электросети.

Сканирующий микроскоп имеет множество режимов работы, изучение которых не входит в задачи данного учебного пособия. Для получения изображения рельефа поверхности образца по записанной в памяти ПК матрице $\{x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}\}$, где i – номер столбца, j – номер строки, необходимо провести математическую обработку значительного массива данных при помощи сложного программного обеспечения. Таким образом, сканирующий зондовый микроскоп является ярким примером сложной мехатронной системы.

Согласно мехатронным принципам построения сканирующий микроскоп характеризует:

- наличие высокоточных электромеханических преобразователей – пьезоэлектрических актюаторов;

- конструктивную интеграцию механических, электромеханических и электронных подсистем (в частности, усилители сигналов находятся рядом с преобразователями);

- применение упрощенных механических цепей: трехкоординатный микроманипулятор содержит только пьезокерамическую трубку с разделенными электродами; шаговый пьезодвигатель подачи стола с образцом также имеет простую конструкцию;

- максимальную функциональную нагрузку имеет система управления; режимы работы выбираются и отрабатываются программным путем;

- изображение рельефа образца: его формирование происходит путем обработки больших массивов информации при помощи сложного программного обеспечения.

3.4. Мехатронная система экстракорпоральной литотрипсии

Экстракорпоральная литотрипсия – метод разрушения камней в почках и мочевом пузыре неинвазивным способом (то есть без хирургического вмешательства). Для осуществления такого метода необходимо разрушить конкремент (камень) внутри организма до размеров не более 1-3 мм, не рассекая ткани пациента.

Этот метод, разработанный в 80-х г. XX в., основывается на современных технологиях и может быть осуществлен только при мощной компьютерной поддержке. За основу метода принято воздействие на камень

ударной акустической волной, формирующейся в аппарате снаружи тела человека. При помощи специального отражателя ударная волна, проходя через мягкие ткани человека, фокусируется в зоне нахождения камня. Резкий скачок давления проходящей ударной волны, влекущий за собой резкий скачок механического напряжения, сопровождающийся растяжением хрупкого камня, приводит к его разрушению и дроблению.

Для формирования ударной волны применяются различные физические эффекты. В настоящее время наиболее эффективным способом в экстракорпоральной литотрипсии признан электрогидравлический эффект (ЭГЭ), открытый в 1950 г. и запатентованный лауреатом Государственной премии СССР Л. А. Юткиным. Первый литотриптер – аппарат, предназначенный для проведения экстакорпоральной литотрипсии, – был испытан в 1959 г. в Риге, однако до конца 80-х г. этот метод не мог найти широкого применения, так как требовал сложной системы управления. В настоящее время несколько ведущих компаний по производству медицинской техники выпускают комплексы литотрипсии (рис. 3.13), стоимость которых доходит до миллиона долларов.

а) *б)*

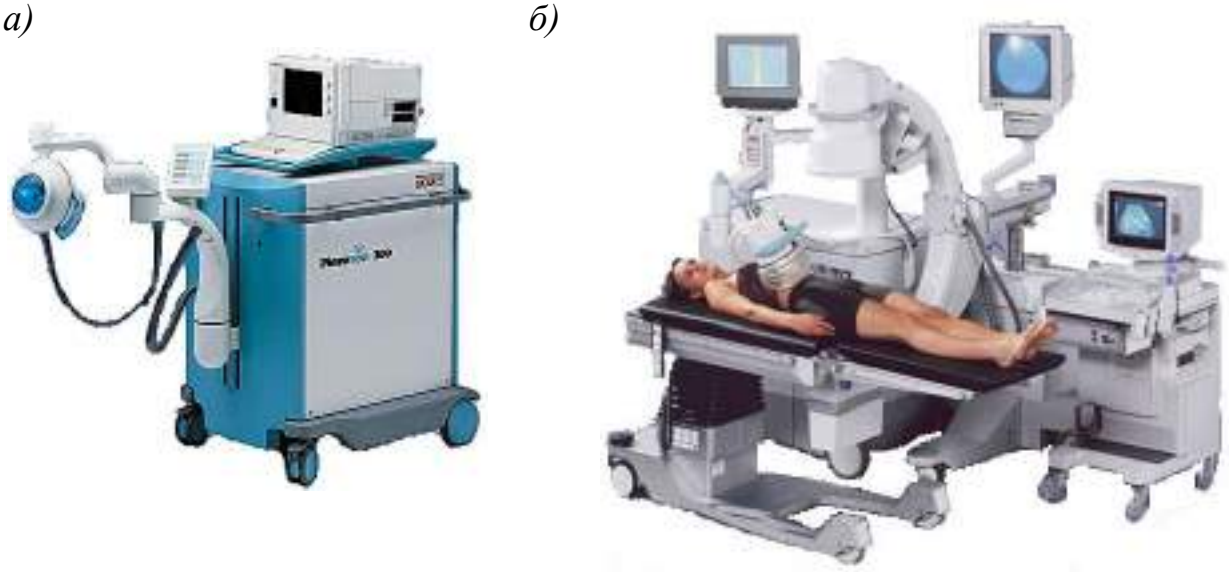


Рис. 3.13. Комплексы экстракорпоральной литотрипсии

Суть ЭГЭ состоит в том, что при подаче высокого электрического напряжения (примерно 20 кВ) на два электрода, расположенных на расстоянии нескольких миллиметров в воде, между ними возникает электрический пробой, сопровождающийся кратковременным выделением тепла и

ударной волны в воде. Для создания условий возникновения ударной волны высокой импульсной мощности Л.А. Юткин ввел в электрическую схему искровой воздушный промежуток, который обеспечил подачу напряжения на рабочий промежуток между электродами в воде в виде короткого импульса при помощи «мгновенного» подключения накопителя электрической энергии.

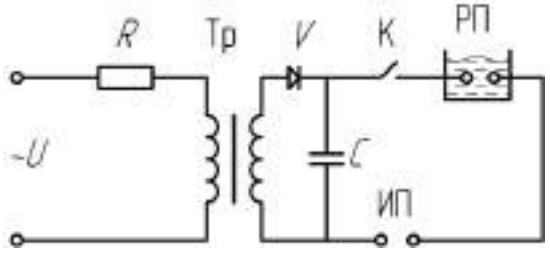


Рис. 3.14. Электрическая схема для воспроизведения ЭГЭ

Аппарат ЭГЭ (рис. 3.14) содержит источник высоковольтного питания *U* с зарядным сопротивлением *R* и трансформатором Тр, диодный выпрямитель *V* и конденсатор *C*, служащий накопителем электрической энергии. При замкнутом ключе К напряжение на конденсаторе повышается до значения, при котором происходит самопроизвольный пробой воздушного искрового промежутка (ИП), и вся энергия, запасенная в конденсаторе, «мгновенно» поступает на рабочий промежуток (РП) в жидкости, где выделяется в виде короткого электрического импульса большой мгновенной мощности. Частотой разрядов управляет ключ К.

В сосуде находится дистиллированная вода. При прохождении импульса электрического тока создается кратковременная электрическая дуга и происходит микровзрыв (энергия взрыва примерно 100 Дж). Он создает ударную волну. При этом мгновенная мощность должна быть как можно выше, а напряжение между проводниками – передаваться за доли секунды.

В литотриптере ударная волна, сформированная при помощи ЭГЭ, должна быть сфокусирована в зоне разрушаемого камня, поэтому рабочая часть литотриптера выполнена в виде половины эллипсоида вращения (рис. 3.15), который можно задать с помощью формулы

$$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}+\frac{z^2}{b^2}=1.$$

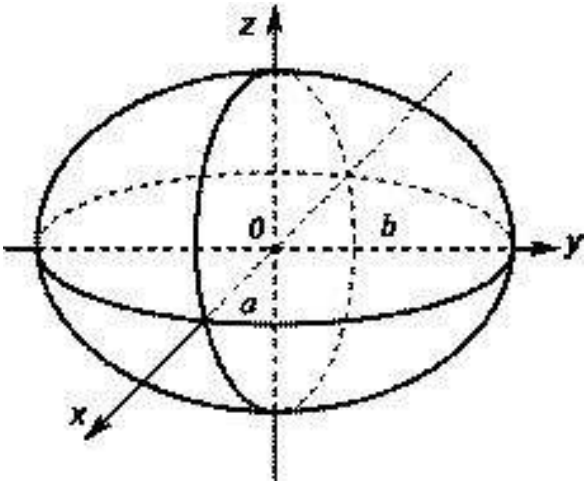


Рис. 3.15. Эллипсоид вращения

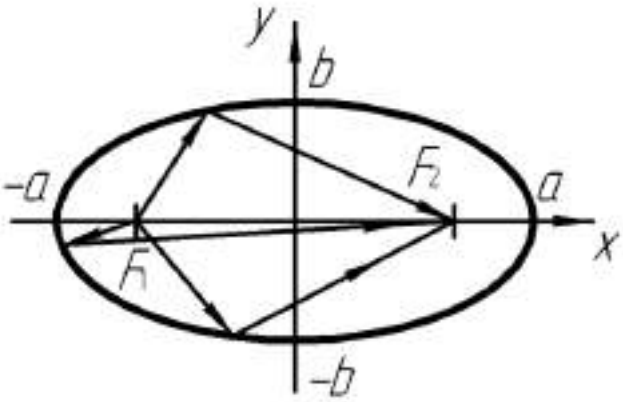


Рис. 3.16. Схема распространения лучей в эллипсоиде

Эллипсоид имеет два фокуса F_1 и F_2 (рис. 3.16), обладающих следующим свойством.

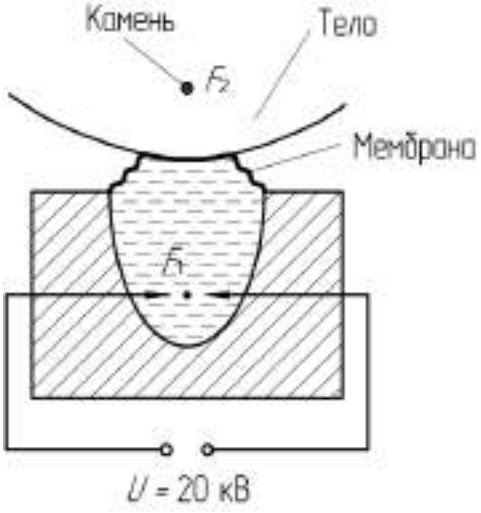


Рис. 3.17. Схема совмещения фокуса литотриптера с камнем

Любой луч, исходящий из одного фокуса, попадает на внутреннюю поверхность эллипсоида, отражается от него и проходит во второй фокус, т. е. все лучи, исходящие из одного фокуса, собираются во втором фокусе, причем сумма длин лучей одинакова во всех направлениях. Таким образом, энергия, исходящая из одного фокуса, концентрируется во втором фокусе, т. е. ударная волна, исходящая из F_1, будет сфокусирована в F_2. Литотриптер представляет собой металлический сосуд (рис. 3.17), внутренняя

часть которого имеет форму половины эллипсоида вращения. В фокусе F_1 на расстоянии примерно 5 мм расположены два вольфрамовых электрода, соединенных с источником высокого напряжения U. Открытая часть сосуда затянута упругой мембраной, внутренняя полость которого заполнена дистиллированной водой. Во время процедуры мембрана поджимается к телу пациента таким образом, чтобы второй фокус F_2 эллипсоида совместился с разрушаемым камнем.

Для успешного дробления камня нужно решить четыре задачи:

– найти камень внутри организма;

– определить его координаты;

– совместить второй фокус литотриптера с камнем;

– воспроизвести ЭГЭ.

Для решения этих задач в установке экстракорпоральной литотрипсии содержится четыре блока:

– система ультразвуковой (УЗ) визуализации;

– система определения координат камня (СОКК);

– система наведения литотриптера на камень;

– система управления высоковольтным разрядом.

Система управления установки имеет промышленный компьютер верхнего уровня и четыре подсистемы (рис. 3.18). Управляющие сигналы от ПК и сигналы обратной связи передаются через шину передачи данных. Система УЗ-визуализации имеет свой контроллер, УЗ-генератор, УЗ-приемник и УЗ-пьезоэлектрический сканер.

СОКК состоит из пассивного многозвенного манипулятора, на конечном звене которого установлен УЗ-пьезоэлектрический сканер. Врач вручную фиксирует его на теле пациента, находя по монитору расположение камня внутри почки. Далее система управления автоматически определяет положение камня относительно неподвижной системы координат, исходя из показаний датчиков положения пассивного манипулятора.

Система наведения литотриптера (второго фокуса) на камень получает информацию о координатах камня, далее, после решения обратной задачи управления, выдает сигналы драйверам на отработку электродвигателями (ЭД) координат манипулятора, рабочим органом которого является литотриптер.

Для решения обратной задачи управления необходимо решить систему векторных уравнений (рис. 3.19), исходя из условий совмещения координат камня и координат второго фокуса. Пусть пассивный манипулятор с УЗ-сканера состоит из многозвенника *OABC* (в шарнирах *A, B, C* находятся датчики положения).

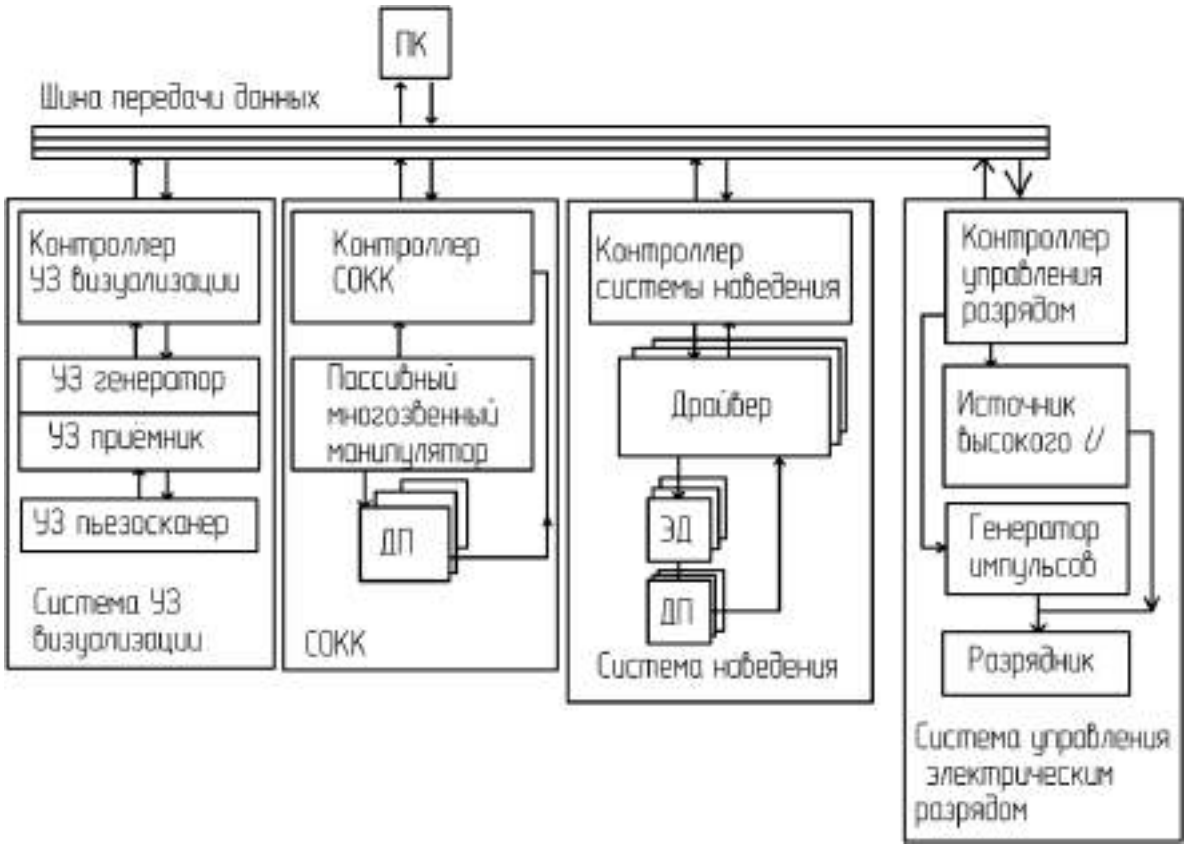


Рис. 3.18. Система управления установки экстракорпоральной литотрипсии

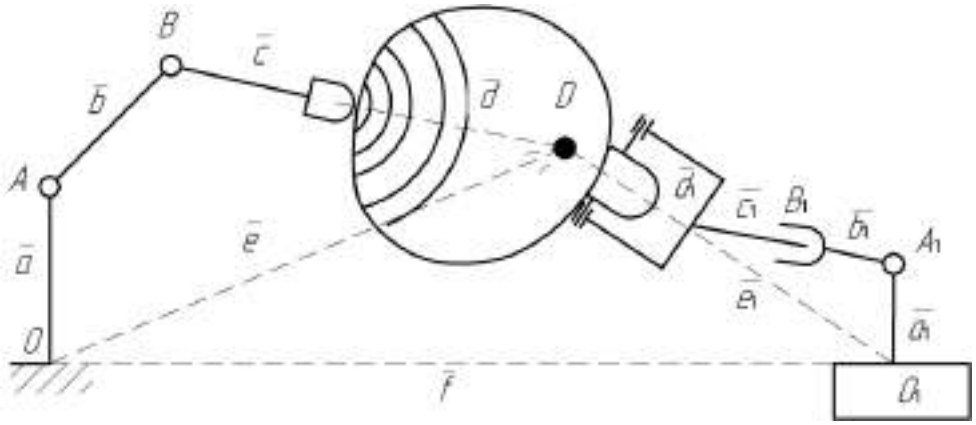


Рис. 3.19. Расчетная схема наведения литотриптера на камень

Манипулятор литотриптера представим в виде многозвенника $O_1A_1B_1C_1$, в узлах которого находятся электроприводы с драйверами, а в точке D — второй фокус литотриптера.

Условие совмещения камня со вторым фокусом:

$$\bar{f} + \bar{e} = \bar{e}_1. \tag{3.2}$$

С одной стороны для пассивного манипулятора будет справедливо уравнение

$$\bar{a} + \bar{b} + \bar{c} + \bar{d} = \bar{e}, \tag{3.3}$$

где $\bar{d}$ – вектор, характеризующий расстояние от УЗ-сканера до камня внутри тела и определяемый УЗ-сканером.

С другой стороны, для манипулятора литотриптера можно записать

$$\bar{a}_1 + \bar{b}_1 + \bar{c}_1 + \bar{d}_1 = \bar{e}_1, \tag{3.4}$$

где вектор $\bar{d}_1$ характеризует расстояние от держателя литотриптора до второго фокуса. Контроллер наведения решает систему векторных уравнений (3.2)-(3.4) и выдает управляющие сигналы ЭД-манипулятора.

В некоторых конструкциях системы экстрокорпоральной литотрипсии предусмотрено синхронное отслеживание координат камня с помощью системы наведения с учетом дыхания пациента: во время процедуры камень совершает колебательные движения примерно 10-15 мм синхронно с дыханием.

3.5. Ультразвуковая диагностика

В диагностической технике, в частности в медицинской технике, широкое распространение получили ультразвуковые методы определения внутренней структуры объектов, осуществляемые снаружи объекта исследования. В настоящее время в системах УЗ-диагностики существенно расширились функциональные возможности аппаратуры и повышена разрешающая способность благодаря применению высокопроизводительных компьютеров, позволяющих обрабатывать большие массивы данных.

Под ультразвуком понимают волновые процессы в средах или телах, где восстанавливающей силой является сила упругости, а частота колебаний лежит в пределах от 16 кГц до 10 ГГц, т. е. выше слышимых челове-

ком частот звука. В зависимости от частоты УЗ-обладает специфическими особенностями генерации, приема, распространения и приме-нения.

Многие животные воспринимают звуки значительно более высоких частот, чем человек: собаки – до 44 кГц; крысы – до 72 кГц; летучие мыши – до 115 кГц. Животные, ведущие ночной образ жизни или живущие в темных пещерах, а также морские животные используют УЗ-для обмена информацией и эхолокации. В природе источниками УЗ-могут быть землетрясения, извержения вулканов, смерчи в скалах. УЗ-также возникает при работе ракетных двигателей.

УЗ-получают с помощью специальных устройств – УЗ-преобразователей (излучателей), которые условно делят на механические и электрические. В механических УЗ-преобразователях источником УЗ-является механическая энергия потока газа или жидкости. Такие преобразователи называют свистками и сиренами, они просты по конструкции, но обладают нестабильностью излучаемых частот, что ограничивает область их применения.

В электрических преобразователях используют магнитострикционные и пьезоэлектрические материалы. Магнитострикционные преобразователи применяют на относительно низких УЗ-частотах – до 100 кГц, а пьезоэлектрические – до 100 МГц. Первые, как более мощные, используют в качестве технологических инструментов, в медицине – в качестве хирургических и стоматологических инструментов для очистки медицинских изделий, а пьезоэлектрические преобразователи – в тех же целях, что и магнитострикционные и для УЗ-диагностики.

Параметры УЗ-волновых процессов

Скорость распространения волны – это один из основных параметров упругой среды. Для продольных волн данный параметр постоянен для довольно большого диапазона частот, а для изгибных волн в твердых телах он зависит от частоты:

$$c_{изг} = \alpha\sqrt{\omega}\,.$$

Для таких упругих сред, как газ, жидкость, металл, скорость продольных волн называют скоростью звука. Для газа скорость звука определяется по формуле:

$$c_г = \sqrt{Kp_0 / \rho_0}\ ,$$

где $K = c_p / c_v$ (а c_p, c_v – удельные теплоемкости газа при постоянных давлении, объеме (не путать со скоростью звука!)); p_0 и ρ_0 – давление и плотность невозмущенной среды газа.

Для жидкости скорость звука определяется с помощью выражения

$$c_{ж} = \sqrt{Y / \rho_0} = \sqrt{1/\beta_{ад}\,\rho_0}\ ,$$

где $\beta_{ад}$ – адиабатический коэффициент сжатия жидкости; Y – модуль упругости жидкости.

Скорость звука в жидкости мало зависит от давления, так как жидкость по сравнению с газом малосжимаема.

Физические свойства мягких тканей человека близки к жидкой среде, что подтверждается на практике:

Материал	**Скорость звука *c*, м/с**
Воздух	330
Жир	1450
Вода	1480
Стекловидное тело глаза	1520
Мягкие ткани, мозг, печень	1540
Почки, селезенка, кровь	1560
Мышцы	1590
Кости черепа	4080

В медицинской практике результаты измерения скорости звука используют для оценки состояния тканей, например степени деминерализации костных тканей (такой эффект проявляется при длительном нахождении человека в условиях невесомости). Однако основная область применения параметра скорости звука – УЗ-диагностика.

В повседневной жизни мы замечаем, что при погружении ладони в воду при малой скорости ее перемещения вода оказывает малое сопротивление, т. е. давление на руку незначительно, а при большой скорости перемещения ладони в воде это сопротивление возрастает. В воздухе сопротивление воздушной среды намного меньше, однако тенденция та же: чем больше скорость, тем выше сопротивление среды. То же самое для колебательных процессов в упругих средах. Этот эффект характеризуется волно-

вым сопротивлением среды (ВСС) – отношением звукового давления в бегущей волне к колебательной скорости частиц среды:

$$z = \tilde{p} / \dot{\tilde{\xi}}.$$

Пусть в положительном направлении оси x распространяется бегущая волна давления (представленная в комплексном виде) с круговой частотой ω:

$$\tilde{p} = p_m e^{j(\omega t - kx)}, \tag{3.5}$$

где j – мнимая единица, $k = \omega / c$ – волновое число.

Этой волне соответствует бегущая волна колебательной скорости частиц

$$\dot{\tilde{\xi}} = \dot{\xi}_m e^{j(\omega t - kx)}, \tag{3.6}$$

которая очевидно имеет те же параметры ω и k.

Подставим уравнения (3.5) и (3.6) в формулу Эйлера для упругой среды

$$\partial p / \partial x = -\rho_0 \, \partial \dot{\xi} / \partial t:$$

$$jk(p_m / \rho_0) e^{j(\omega t - kx)} = j\omega \dot{\xi}_m e^{j(\omega t - kx)},$$

откуда получим

$$\omega \dot{\xi}_m = k(p_m / \rho_0)$$

или, учитывая, что $k = \omega / c$,

$$p_m = \rho_0 c \dot{\xi}_m. \tag{3.7}$$

Хорошо видно, что равенство (3.7) справедливо не только для амплитудных значений, но и для векторов:

$$\tilde{p} = \rho_0 c \dot{\tilde{\xi}}.$$

Отсюда по определению ВСС: $z = \tilde{p} / \dot{\tilde{\xi}}$ получим

$$z = \rho_0 c.$$

Волновое (или удельное) сопротивление среды – один из важнейших параметров упругих сред, характеризующих акустические процессы.

Хорошо видно, что для бегущих волн, распространяющихся в отрицательном направлении оси x, будет иметь место $\tilde{p} = -\rho_0 c \dot{\tilde{\xi}}$.

Размерность волнового сопротивления [z] Н с/м^3. Для воды $z = 1{,}5 \cdot 10^6$ Н с/м^3, а для воздуха $z = 432$ Н с/м^3. Численные значения z показывают, что волновое сопротивление воды в 3500 раз больше, чем воздуха.

Из физики упругих сред известно, что степень отражения волн на границе двух сред зависит от соотношения ВВС этих сред. При их равенстве бегущая волна проходит через границу без отражения, в любом другом случае происходит частичное или полное отражение.

В дальнейшем для краткости опустим индекс «0» при ρ, характеризующий плотность невозмущенной среды. Тогда ВСС определяется по формуле

$$Z = \rho \cdot c.$$

Для упругих сред скорость звука (для продольной волны) определяется по формуле

$$c = \sqrt{\frac{Y}{\rho}},$$

здесь Y – объемный модуль упругости. В общем случае уравнение бегущей волны колебаний частиц воздуха можно записать в виде

$$\xi = \xi_M \cos(\omega t \pm kx),$$

здесь ω – угловая частота, $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число ($\lambda = c/f$ – длина волны). Знак «-» соответствует случаю, когда волна распространяется вдоль некой оси x, а знак «+», когда против оси. Уравнение бегущей волны давления можно записать в виде

$$p = p_m \cos(\omega t \pm kx + \varphi)$$

Здесь φ - фазовый сдвиг, зависящий от свойств среды.

Энергия бегущей волны в пространстве характеризуется плотностью энергии E, имеющей размерность Дж/м^3. Для любой волны справедлива запись:

$$E = \frac{\rho \dot{\xi}^2}{2} + \frac{\beta p^2}{2}$$

Здесь $\beta = 1/Y$ – коэффициент сжимаемости. Для бегущей волны средняя за период плотность энергии:

$$E_{ср} = \frac{\rho\dot{\xi}_m^2}{2} = \frac{\beta p_m^2}{2} \Rightarrow \rho\dot{\xi}_m^2 = \beta p_m^2 \Rightarrow p_m = \rho c\dot{\xi}_m = z\dot{\xi}_m$$

Среднюю интенсивность волны можно определить по формуле

$$I_{ср} = E_{ср}c,$$

где $I_{ср}$ выражается в Вт/м^2. Для ультразвуковой диагностики интенсивность не должна превышать 50 Вт/м^2. С помощью выражения для интенсивности определим плотность:

$$\frac{I_{ср}}{c} = \frac{\rho\dot{\xi}_m^2}{2} \Rightarrow \dot{\xi}_m = \sqrt{\frac{2I_{ср}}{\rho c}}$$

Для воды при f = 1 МГц, c = 1500 м/с, ρ = 1000 кг/м^3 имеем:

$\dot{\xi}_m = 0{,}8 \cdot 10^{-2}$ м/с – амплитуда скорости колебаний воды,

$\xi_m = \dot{\xi}_m / \omega = 1{,}3 \cdot 10^{-9}$ м – амплитуда колебаний частиц воды,

$p_m = 0{,}12$ бар – амплитуда давления.

Таким образом, амплитудное значение избыточного давления в волне приблизительно равно 0,1 атмосферного давления.

3.5.1. Ультразвуковое сканирование

В основе эхо-импульсных методов диагностики лежат эффекты затухания и отражения УЗ-волн при прохождении их через неоднородную среду. Основная особенность УЗ-диагностики – возможность получения визуальной информации о мягких тканях, незначительно отличающихся по плотности или упругости. УЗ-метод исследования обладает высокой чувствительностью, может быть использован для обнаружения образований, не выявляемых с помощью рентгена, не требует применения контрастных веществ, безболезнен, практически не имеет противопоказаний.

Суть метода можно пояснить на простом примере (рис. 3.20). Пьезоэлектрический преобразователь *1*, который может работать в режиме как излучения, так и приема, прижимают к поверхности тела *2* через тонкую прослойку буферной жидкой среды (вода, гель) для улучшения акустического контакта с тканями человека, т. е. для уменьшения отражения

УЗ-волн от поверхности тела. Пьезопреобразователь через сложную компьютерную систему связан с дисплеем (на рис. 3.20, *а*, справа), на котором по оси *x* представлена развертка по времени, а по оси y – по амплитуде сигнала.

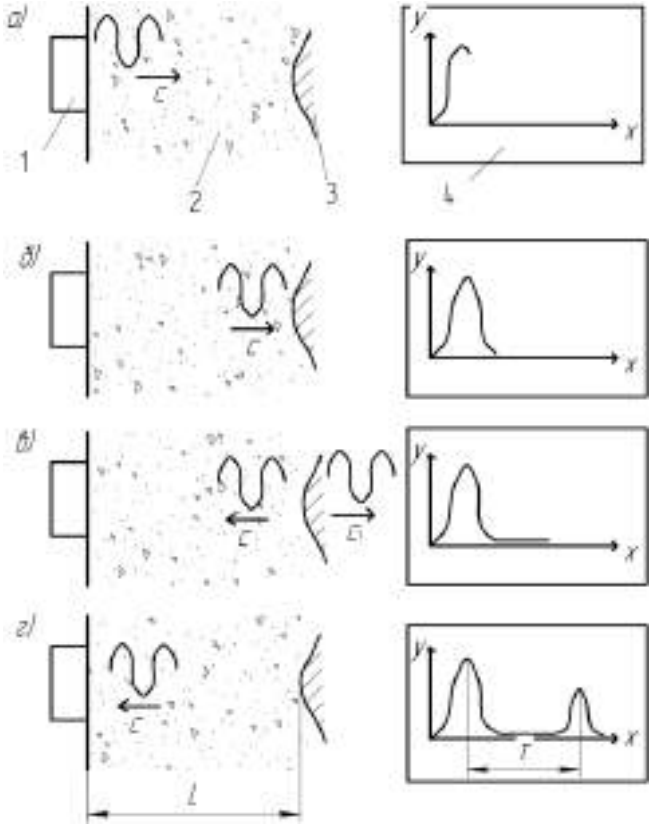


Рис. 3.20. Схема УЗ-эхо-импульсного метода

В момент испускания УЗ-импульса (см. рис. 3.20, *а*) на экране дисплея формируется передний фронт импульса. УЗ-импульс представляет собой пакет, состоящий из нескольких волн, т. е. импульс длится всего несколько периодов колебаний на фиксированной частоте в диапазоне от 1 до 15 МГц. Во время прохождения УЗ-импульса в тканях тела на экране формируется передающий импульс (см. рис. 3.20, б). Далее, УЗ-импульс на своем пути встречает внутренний орган *3* (см. рис. 3.20, *а*), который характеризуется отличным от ткани волновым сопротивлением (см. рис. 3.20, *в*). Следовательно, УЗ-импульс частично отразится, а частично пройдет внутрь органа. В этот отрезок времени на экране дисплея будет наблюдаться прямая линия, так как на пьезопреобразователе отсутствуют какие-либо сигналы.

После того как отраженный импульс, иначе – эхо-импульс, дошел до пьезопреобразователя, он появится на экране его амплитуда будет меньше испускаемого импульса (см. рис. 3.20, *г*). Расстояние от поверхности тела до внутреннего органа L можно определить по времени τ прохождения импульса до органа и обратно: $L = c\tau/2$. Рассмотренный принцип УЗ-визуализации внутреннего строения тела человека широко используется не только в медицине, но и в дефектоскопии для обнаружение изъянов внутри материалов и гидроакустике для обнаружения подводных объектов. Следует отметить, что это самый простой принцип визуализации, существуют и более сложные, но все они основаны на пропорциональности расстояния от излучателя до объекта и на времени прохождения импульса от излучателя и обратно.

Существующие эхо-импульсные системы визуализации имеют следующую структуру (рис. 3.21). Зондирование объекта осуществляется через контактную (буферную) среду.

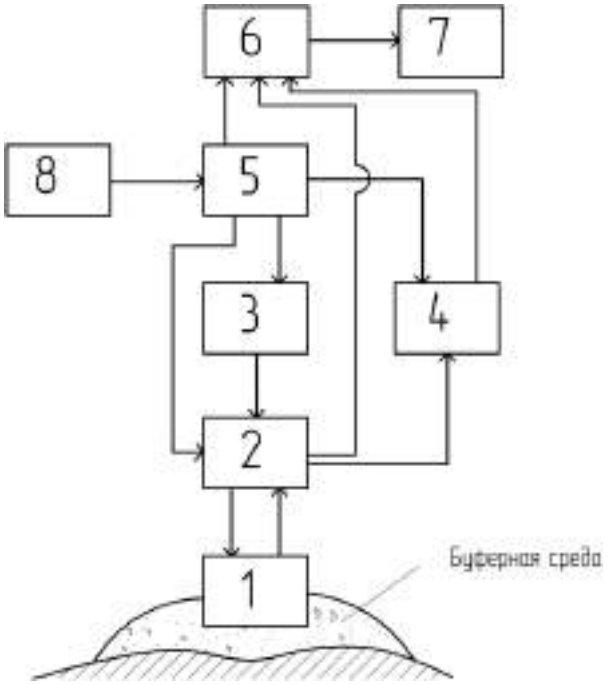


Рис. 3.21. Функциональная схема эхо-импульсной системы УЗ-визуализации

Основным элементом любой эхо-импульсной системы является пьезоэлектрический акустический преобразователь *1*, который служит для излучения зондирующего акустического сигнала на объект изучения и для

приема акустического эхо-сигнала, отраженного от объекта. Таким преобразователем может быть либо пьезокерамический элемент, либо одно- и двухмерная решетка (матрица) пьезокерамических элементов.Следующим элементом является система сканирования *2*, предназначенная для получения информации с большей, чем без нее зоны исследования. На практике сканирование (т. е. движение оси УЗ-пучка по обследуемому объекту) можно выполнить одним из трех способов:

- путем перемещения всего преобразователя вручную;
- с использованием механического привода перемещения преобразователя;
- путем перемещения пучка относительно неподвижного преобразователя с помощью электронной коммутации пьезоэлементов матрицы преобразователя.

Для всех трех способов необходимо наличие растра (механического или электронного), т. е. области сканирования, чтобы ограничить сканирование пучка определенной областью и одновременно получить электрические сигналы, определяющие положение оси УЗ-пучка в пространстве.

Передающий тракт *3* (передатчик) должен подавать на преобразователь напряжение с крутым фронтом. Естественно стремление повысить амплитуду возбуждающего импульса напряжения, однако оно ограничено требованиями:

- не допускать значительны нелинейных эффектов при распространении акустических импульсов в среде;
- электрического пробоя в самом пьезоэлектрическом преобразователе и нелинейности в его работе;
- превышения ограничений уровня акустической энергии, излучаемой в тело пациента.

На практике амплитуды электрических импульсов не превышают 100 В.

Приемник *4* представляет собой систему усиления и сопряжения между преобразователем и устройством запоминания и обработки данных. В современных системах эхо-сигналы на выходе преобразователя имеют широкий динамический диапазон, уровень сигнал/шум – до 80 дБ.

Наиболее ответственным и сложным элементом системы является устройство запоминания и обработки данных *6*. В нем происходит обработка сигналов, полученных от устройства управления *5* и приемника *4*, и запоминание информации. Эта информация поступает на дисплей, где визуализируется вся переработанная информация *7*.

Кроме перечисленных элементов в эхо-импульсную систему входят пульт управления *8* и устройство управления всей системой, которое управляет работой передатчика, приемника и системой сканирования.

Типы УЗ-изображений.

В системах медицинской УЗ-диагностики получают изображения трех типов — А, В, М. Эти типы также называют методами или режимами сканирования.

Изображение А-типа (amplitude modulation). Содержит лишь одну пространственную координату вдоль направления распространения УЗ-пучка: по оси *x* – время, по оси *y* – амплитуда сигнала. Эхо-сигналы вдоль трассы излучения соответствуют глубине залегания и отражающей способности тканей, лежащих на пути УЗ-пучка (см. рис. 3.21).

Изображение В-типа (brightness – яркость). Это изображение томографического слоя, полученного в режиме так называемой серой шкалы. Каждой амплитуде принятого эхо-сигнала соответствует определенная степень почернения люминофора электронно-лучевой трубки монитора. Чем меньше интенсивность эхо-сигнала, тем темнее выглядит на мониторе участок изображения, и наоборот. *В*-тип – основной тип изображения в абдоминальной ультрасонографии. Преобразователь (или УЗ-пучок) перемещается, т. е. сканирует, вдоль поверхности тела, при этом на экране монитора, имеющего память, фиксируется двухмерная эхограмма, воспроизводящая поперечное сечение исследуемой области тела. Иначе говоря, если представить движущийся вдоль тела преобразователь как нож, то изображение *В*-типа – срез, полученный при рассечении тела ножом.

Сравним изображения *А*-типа и *В*-типа (рис. 3.22, *а*). Пусть внутри тела *1* находится объект *2*, волновое сопротивление $\rho_2 c_2$ которого отличается от волнового сопротивления тела $\rho_1 c_1$. На поверхности тела находится

преобразователь *3*, излучающий и принимающий УЗ-импульсы. Ось УЗ-пучка расположена под заданным углом φ к какой-либо оси координат. При изображении *A*-типа на мониторе будут видны четыре импульса (рис. 3.22, *б*), расположенные последовательно вдоль оси *x*: излучаемый (T_1), отраженный от передней границы объекта (T_2), отраженный от задней границы объекта (T_3) и отраженный от задней границы тела (T_4). Амплитуды этих импульсов уменьшаются с расстоянием от преобразователя.

При изображении *B*-типа на экране монитора, работающего в режиме серой шкалы, вдоль оси *x* в тех же местах будут видны четыре яркие точки (рис. 3.22, *в*), яркость которых зависит от интенсивности эхо-сигналов. Заметьте, что пр и *A*-типе интенсивность эхо-сигналов характеризуется высотой пиков по оси *y* на мониторе.

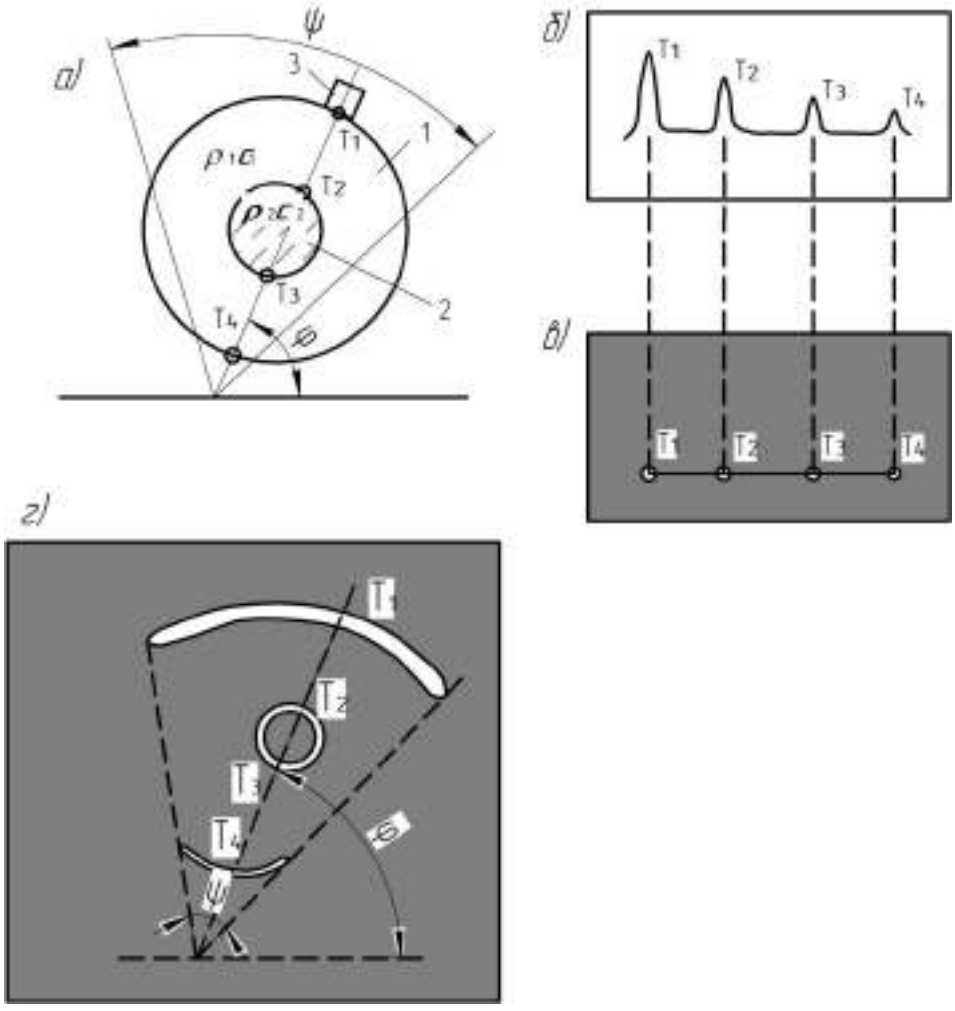


Рис. 3.22. *A* и *B*-типы УЗ-изображений

Теперь будем двигать преобразователь по телу, тем самым изменяя угол φ, который можно измерить в любом положении (рис. 3.22, *г*). В результате на мониторе, имеющем послесвечение (запоминание предыдущего сигнала) и круговую развертку, зависящую от угла φ, получится томографическое изображение объекта, находящегося внутри тела (т. е. изображение среза тела). Существует частный вид изображения *B*-типа, который называется *C*-режимом. При нем осуществляется сканирование с постоянной глубиной, и на экране появляется двухмерное изображение объекта, находящегося в плоскости, параллельной плоскости перемещения преобразователя, и соответственно, перпендикулярной к оси УЗ-пучка. Фиксация расстояния между плоскостями устанавливается путем стробирования эхо-сигнала по времени. Необходимо отметить, что при *C*-режиме сканирование УЗ-пучка осуществляется дополнительно и вдоль тела.

Изображение M-типа (motion – движение), или изображение TM-типа (time-motion). Это основной тип в методе эхокардиографии. При исследовании сердца расстояние между преобразователем и отражающей поверхностью постоянно в такт сердца меняется. При этом координаты по длительности изображений *A*-типа считываются по вертикальной оси, амплитуда видеосигнала модулирует яркость строки и все получаемые строчки с течением времени медленно разворачиваются (ползут) вдоль горизонтальной оси.

Корректировка при визуализации эхо-сигналов.

При визуализации акустической информации возникает множество проблем, связанных с прохождением УЗ-луча через различные ткани. Эхо-сигналы от ближних к излучателю структур будут иметь большую мощность, чем от структур, лежащих в глубине тела. Поэтому, чтобы на экране ближние структуры не выглядели более яркими, требуется компенсировать потерю интенсивности эхо-сигналов, отраженных от глубоколежащих структур. Затухание эхо-сигналов можно скорректировать с помощью временной автоматической регулировки усиления (ВАРУ), однако реальная глубина исследуемых тканей не должна превышать 100λ. Большое усиление ВАРУ (gain), т. е. прирост интенсивности эхо-сигнала, дает яркий сигнал на мониторе. Однако оно приводит к потере темных оттенков серого, а

малое усиление – светлых градаций серого цвета, что существенно ухудшает качество изображения.

Повышение или понижение чувствительности аппарата в зависимости от глубины исследуемой зоны осуществляется путем регулирования амплитуды эхо-сигнала от ближних и дальних зон, т. е. путем раздельного регулирования усиления в зависимости от рассматриваемых объектов. Ближний прирост (near gain) позволяет усиливать или подавлять эхо-сигналы от тканей, лежащих около поверхности преобразователя, дальний прирост (far gain) – на больших глубинах. Во время исследования оператор регулирует и то и другое. Помимо gain у оператора есть и другие возможности воздействовать на мощность эхо-сигналов: задержка (delai), чувствительность (sensitivity), грубый прирост (coarse gain). Эти регулировки могут отсутствовать на аппаратах различных фирм.

Динамический диапазон отображенных эхо-сигналов (dynamic range) позволяет проводить оптимальную дифференциацию изображений различных по акустической плотности тканей за счет регулировки диапазона интенсивности эхо-сигналов. Некоторые установки имеют возможность «усиления» изображения эхо-сигналов (echo enhancement). Чем выше уровень усиления, тем контрастнее эхо-рисунок.

Сканирование УЗ-луча.

Для создания двухмерного изображения объекта необходимо перемещать УЗ-луч в зоне, ограниченной растром аппарата. В зависимости от области применения и объектов исследования используется сканирование с различной геометрической формой зоны сканирования – растра. В настоящее время существуют сканеры (т. е. преобразователи с системой сканирования), имеющие секторную, линейную, трапециевидную и конвексную форму зоны сканирования.

Секторные сканеры обеспечивают хорошую визуализацию внутренних органов на любой глубине при широком обзоре, за исключением тканей, находящихся вблизи поверхности тела. Обычно угол развертки – $60\text{-}90^0$. Из-за малой площади контакта с поверхностью тела этот сканер незаменим при исследовании межреберного пространства и через роднички черепа мозга новорожденного.

Линейные сканеры обеспечивают диагностику на небольших участках тела как на поверхности, так и в глубоколежащих структурах, и часто применяют при обследовании брюшной полости и в акушерстве.

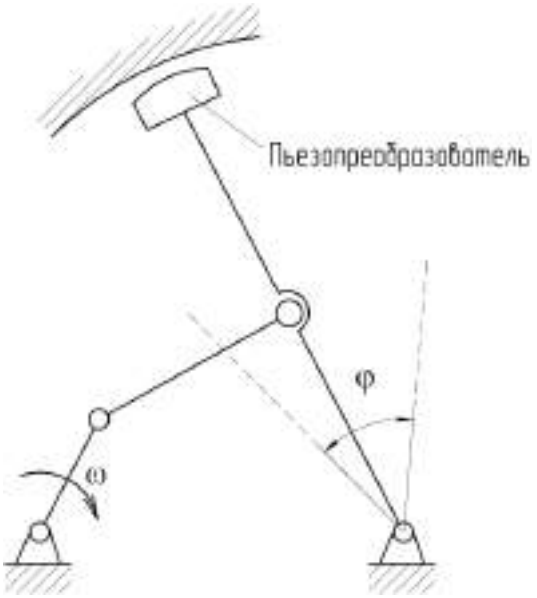


Рис. 3.23. Кинематическая схема сканера с электромеханическим приводом

Трапециевидные и конвексные (т. е. трапециевидные с выпуклой большей стороной) сканеры занимают промежуточное положение между секторными и линейными и используют в гинекологии и акушерстве, а также в общей УЗ-диагностике. Сканирование, при котором перемещается сам преобразователь, может осуществляться вручную и механически, например с приводом от шагового двигателя или двигателя постоянного тока (рис. 3.23),вращающегося с постоянной скоростью ω, через кривошипно-шатунный механизм. На его выходном звене установлен пьезопреобразователь.

Это простой и дешевый способ сканирования, более точный, чем ручной. Он позволяет получить двухмерное изображение в реальном времени. Однако механический способ сканирования имеет ряд недостатков, которые ограничивают его применение:

1. Ограниченное поле растра сканера по форме и размерам.

2. Невысокая надежность при длительной эксплуатации из-за гибких токоподводов к качающемуся пьезопреобразователю.

3. Ненадежность контакта между пациентом и пьезопреобразователем из-за качательного движения последнего.

4. Сложность перехода с одного режима сканирования на другой.

5. Невозможность осуществления управляемой фокусировки.

От этих недостатков свободны электронные системы сканирования, в которых отсутствуют подвижные механические элементы.

Электронное сканирование.

Для осуществления электронного сканирования необходимо иметь составной пьезопреобразователь, состоящий из набора пьезоэлектрических элементов, каждый из которых подключается к генератору отдельно от других (коммутируется) и колебания которого не оказывают влияния на работу остальных пьезоэлементов. Такие составные пьезопреобразователи называются пьезоэлектрическими решетками. В УЗ-диагностике используются решетки двух типов: кольцевые и линейные.

Линейная решетка (рис. 3.24) – это составной прямолинейный преобразователь *1*, набранный из отдельно работающих пьезоэлементов *2*, представляющих собой пьезокерамические квадратики не более 4х4 мм.

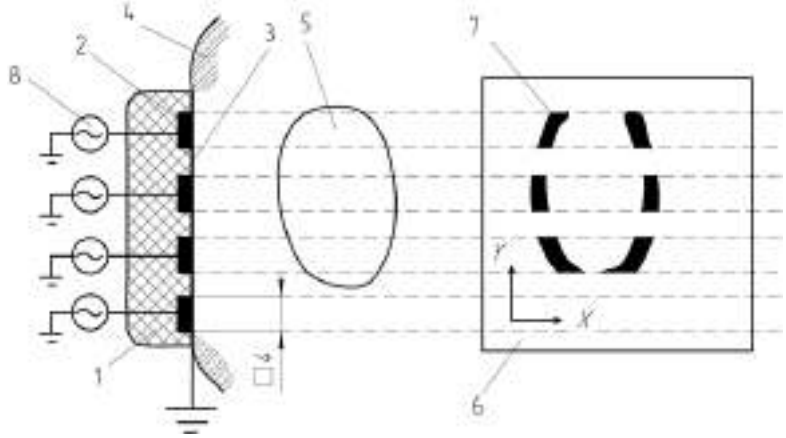


Рис. 3.24. Схема работы линейной решетки

Пьезоэлементы прикреплены к тонкой заземленной мембране *3*, которая через гель прижимается к телу пациента *4*. При линейном сканировании внутреннего органа *5*, т. е. при последовательном излучении и приеме каждого из пьезоэлементов, на экране *6* возникают светлые пятна *7*, координаты которых соответствуют по оси *x* временной координате отраженного от внутреннего органа сигнала, а по оси *y* – линейной координате данного пьезоэлемента. Такая линейная решетка подключена к многока-

нальному электронному коммутатору (количество каналов равно числу пьезоэлементов решетки). Благодаря такому решению существует возможность с разделением по времени подключать элементы решетки к общему ряду передатчиков *8* и приемников электронной цепи управления.

Работу УЗ-сканера с линейной решеткой можно разделить на два режима: излучение УЗ-волн и прием отраженных УЗ-волн. Система управления современных сканеров в этих режимах представлена на рис. 3.25.

Схема управления запускает передатчики ТХ, которые формируют ступенчатые импульсы с размахом ±90 В. Высоковольтные ключи последовательно подают эти электрические импульсы на пьезоизлучатели, которые излучают УЗ-акустические волны в исследуемый объект. В режиме приема те же пьезоизлучатели, работающие уже в качестве пьезодатчиков через высоковольтные ключи, направляют отраженные сигналы на приемники RX и далее в схему обработки сигнала.

У линейной решетки с линейным сканированием есть существенный недостаток, заключающийся в том, что поперечное разрешение системы снижается с увеличением дальности из-за расхождения УЗ-пучка. Недостаток проявляется в том, что границы между внутренними органами и тканями размываются и становятся нечеткими.

Например, при d = 4мм, f = 3,5 МГц на расстоянии h = 60 мм сигнал отражения, имеющий интенсивность -10 дБ, различимый объект имеет протяженность 3,7 мм, а на расстоянии h = 100 мм при той же интенсивности отраженного сигнала – протяженность 6 мм (рис. 3.24). Поле зрения этой системы плоское и ограничено размерами решетки. Она используется преимущественно на малых расстояниях по глубине.

Для увеличения поля зрения (растра) применяются линейные решетки с секторным сканированием. Это конвексное сканирование. При таком сканировании фронт УЗ-пучка поворачивается, а каждый излучатель должен иметь отдельный передатчик (генератор).

Рассмотрим линейную решетку с конвексным сканированием, состоящую из n пьезоэлементов, расстояние между центрами соседних пьезоэлементов – d (следовательно размер каждого элемента также равен d). Необходимо обеспечить создание УЗ-пучка с фронтом волны (см. рис. 3.26, пунктирная линия), имеющим угол Θ к линии решетки.

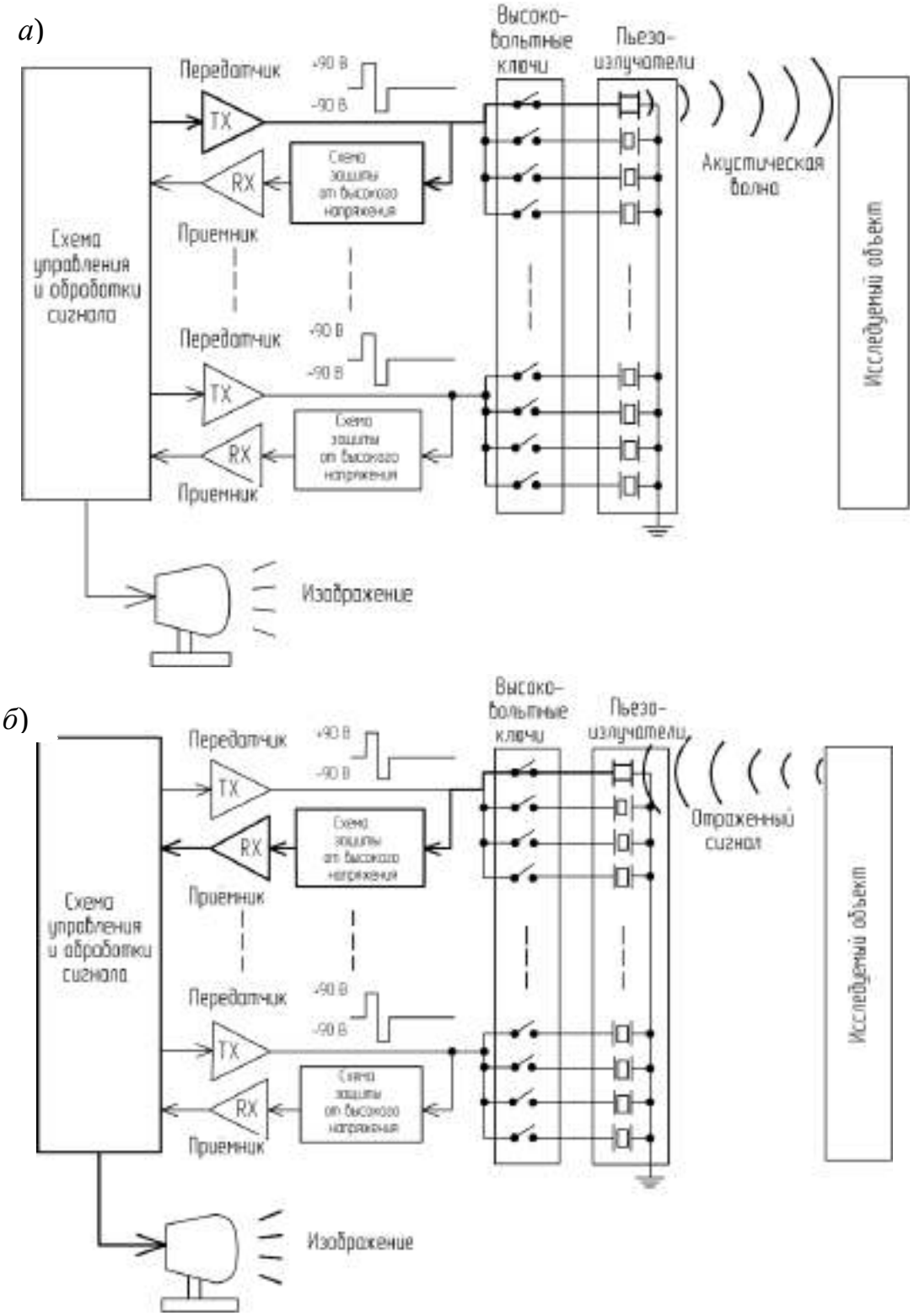


Рис. 3.25. Схема работы системы управления линейной решетки: *а* – в режиме излучения, *б* – в режиме приема

Пусть на каждый *i*-й пьезоэлемент, возбуждающей колебания на одной частоте и с одинаковой амплитудой, подается напряжение U_i, но с разными фазами колебаний φ_i.

$$\tilde{\xi} = \xi_m \, exp\left[j(\omega t - kx + \varphi_i) \right]$$

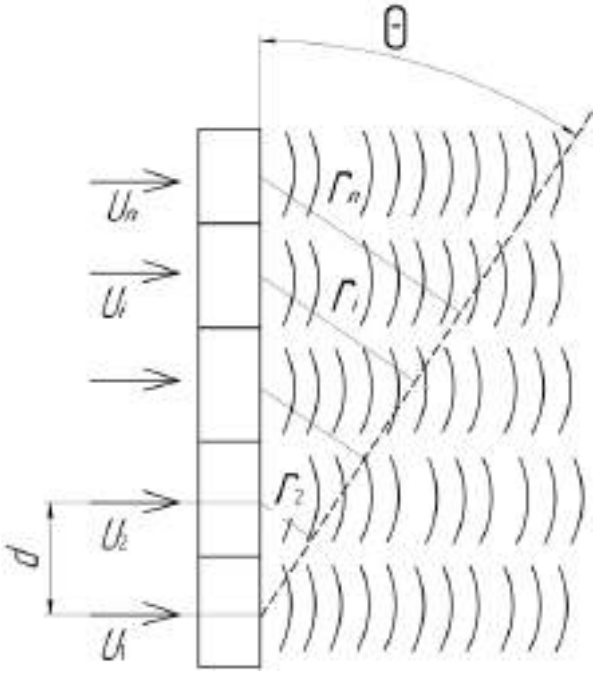


Рис. 3.26. Схема конвексного сканирования

Разумеется, отсчет времени для всех элементов одинаков. Тогда для наблюдателя, находящегося в данный момент времени *t* на фронте волны, колебательные процессы от каждого элемента будут иметь вид

$$\tilde{\xi}_1 = \xi_m \, exp\left(j\omega t \right),$$

$$\tilde{\xi}_2 = \xi_m \, exp\left[j(\omega t - kr_2 + \varphi_2) \right],$$

$$\tilde{\xi}_3 = \xi_m \, exp\left[j(\omega t - kr_3 + \varphi_3) \right],$$

$$\tilde{\xi}_i = \xi_m \, exp\left[j(\omega t - kr_i + \varphi_i) \right], \; \tilde{\xi}_n = \xi_m \, exp\left[j(\omega t - kr_n + \varphi_n) \right].$$

С одной стороны, чтобы все волны пришли во фронт волны в одной фазе, показатели комплексных функций должны быть такими:

$$\omega t = \omega t - kr_2 + \varphi_2 = \omega t - kr_i + \varphi_i = \omega t - kr_n + \varphi_n .$$

Следовательно, $kr_i = \varphi_i$.

С другой стороны, $r_1 = 0, \; r_2 = d \sin\theta, r_i = (i-1) d \sin\theta$, поэтому $\varphi_i = k(i-1) d \sin\theta$.

Таким образом, чтобы обеспечить приход всех волн в одной фазе по линии фронта, имеющей угол θ с линейной решеткой, необходимо иметь сдвиг фаз между соседними элементами

$$\Delta\varphi_i = \varphi_i - \varphi_{i-1} = kd\sin\theta = const\ .$$

Чтобы обеспечить данный постоянный сдвиг фаз между соседними элементами решетки, необходимо запускать каждый последующий элемент с задержкой τ, которая обеспечит сдвиг фаз $\Delta\varphi = \omega\tau$. Учитывая, что $\omega = 2\pi f$, $k = 2\pi/\lambda$, $\lambda = c/f$, получим $\tau = d\sin\theta/c$.

Таким образом, задержка пропорциональна размеру пьезоэлемента, синусу угла и обратно пропорциональна скорости звука. Для любого *i*-ого элемента относительно *n*-го задержка времени $\tau_i = (n-i)\tau$.

Отметим, что существуют электронные устройства, которые по программе управляют значением τ_i для каждого элемента. Следовательно, фронт волны может иметь в принципе любую форму (прямолинейную, угловую, параболическую и т. д.).

Современные УЗ-сканеры, оснащенные системами конвексного сканирования без движущихся механических элементов, обладают многими признаками мехатронных объектов, так как большая часть функциональной нагрузки лежит на компьютерной системе управления.

3.5.2. Ультразвуковые допплеровские мехатронные приборы

Эффект Допплера проявляется в зависимости от наблюдаемой частоты волнового процесса, от любого изменения расстояния между источником колебаний и приемником, а также если приемник или источник (или оба) движется или источник неподвижен, но сигнал от источника отражается от движущегося объекта и принимается неподвижным приемником. На основе эффекта Допплера созданы приборы для определения скорости объектов в различных областях техники: в авиации и космонавтике (используются световые волны); в медицине для определения скорости направления тока крови; в гидро- и пневмоавтоматике для определения скорости газа или жидкости (в последних двух случаях применяются акустические волны). Такие приборы можно отнести к мехатронным, так как в них осуществлена интеграция механических, электромеханических и сен

сорных элементов, объединенных компьютерной системой управления с использованием сложных программных продуктов.

Рассмотрим простейший случай, когда излучатель и приемник движутся вдоль одной прямой (рис. 3.27).



Рис. 3.27. Эффект Допплера при движущихся излучателе и приемнике в одном направлении

Пусть излучатель колеблется с частотой f_s и движется в положительном направлении оси x со скоростью V_s , приемник также движется в положительном направлении оси x (за положительное направление оси x выбрано направление распространения звука) со скоростью V_r, скорость распространения звука в среде – c. Тогда частота колебаний, воспринимаемая приемником, определяется по формуле

$$f_r = (c - V_r)\, f_s/(c - V_s). \qquad (3.8)$$

При этом так называемое допплеровское смещение частоты

$$f_d = f_r - f_s = f_s\,(V_s - V_r)/(c - V_s). \qquad (3.9)$$

При применении ультразвуковой допплеровской локации обычно неподвижны излучатель и приемник, а движется отражатель (либо рассеиватель). Эта схема используется для определения кровотока в сосудах.

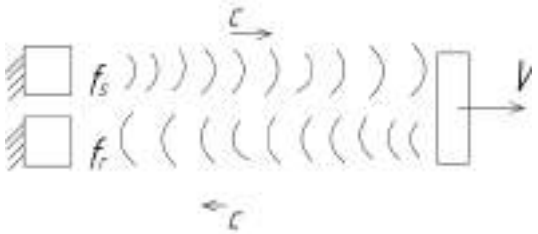


Рис. 3.28. Эффект Допплера при неподвижных излучателе и приемнике и при движущемся отражателе в направлении излучения

При измерении скорости кровотока ультразвук отражается и рассеивается на флуктуациях плотности и сжимаемости среды, в качестве которых служат эритроциты. Принятый от рассеивания волны сигнал можно вычислить как сумму сигналов от всех элементов крови на пути УЗ-пучка

(т. е. в сечении пучка). При этом рассмотренная выше схема трансформируется (рис. 3.28).

Для определения f_r будем считать, что отражатель неподвижен. Тогда излучатель относительно него движется в противоположную от излучения волны сторону, поэтому в формуле (3.8) в знаменателе V_s будет со знаком «+». Приемник относительно неподвижного отражателя движется в ту же сторону, что и волна, поэтому в числителе знак « – » сохраняется:

$$f_r = (c - V_r)\, f_s/(c+V_s). \qquad (3.9)$$

В допплеровских измерителях кровотока излучатель и приемник на одной прямой не находятся и их оси пересекаются под небольшим углом Ф (рис. 3.29). Угол между направлением движения крови в сосуде и осью излучателя обозначен Θ_s, угол между направлением движения крови в сосуде и осью приемника — Θ_r, а угол между направлением движения крови и биссектрисой угла, образованного осями излучателя и приемника – Θ.

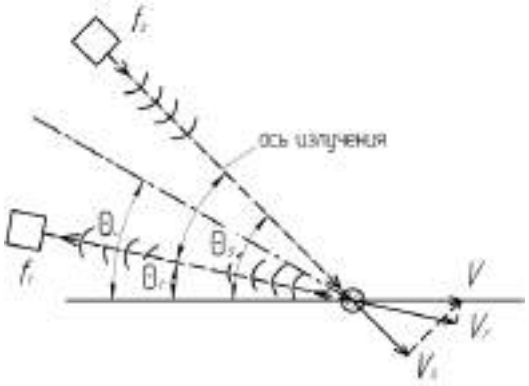


Рис. 3.29. Проявление эффекта Допплера при направлении движения отражателя, не совпадающего с направлением излучения

Поскольку направление скорости кровотока V (скорости эритроцитов) не совпадает с направлением распространения падающей и отражаемой волн, то в формуле (3.9) скорости V_s и V_r надо заменить на проекции на направления излучения и приема. Нетрудно показать, что проекция скорости отражателя на направление излучения звука $V_s = V\cos\Theta_s$, а проекция скорости отражателя на направление приема $V_r = V\cos\Theta_r$. При этом допплеровское смещение частоты определяется по формуле

$$f_d = f_r - f_s = f_s\,(c - V\cos\Theta_r)/(c + V\cos\Theta_s) - f_s\,. \qquad (3.10)$$

Для крови c = 1500 м/с, скорость тока крови V < 1м/с, следовательно $V << c$, поэтому в знаменателе в (3.10) $V\cos\Theta_s$ можно пренебречь:

$$f_d = -f_s V(\cos\Theta_r + \cos\Theta_s)/c = -2f_s V\cos[(\Theta_r + \Theta_s)/2]\cos[(\Theta_r - \Theta_s)/2]/c.$$

Учитывая, что $\Theta = (\Theta_r + \Theta_s)/2$ и обозначая угол между осью излучателя и осью приемника $\Phi = \Theta_r - \Theta_s$, получим $f_d = -2f_s V\cos\Theta\cos(\Phi/2)/c$.

Обычно в устройстве измерения кровотока в одном корпусе совмещают и излучатель и приемник, в качестве которых выступают пьезоэлектрические преобразователи диаметром до 6 мм (рис. 3.30). При пересечении излучаемого и принимаемого пучков образуется так называемый измерительный объем. Он характеризуется тем, что измерение скорости отражателя (эритроцита) возможно только в том случае, если он попал во время измерения в этот объем.

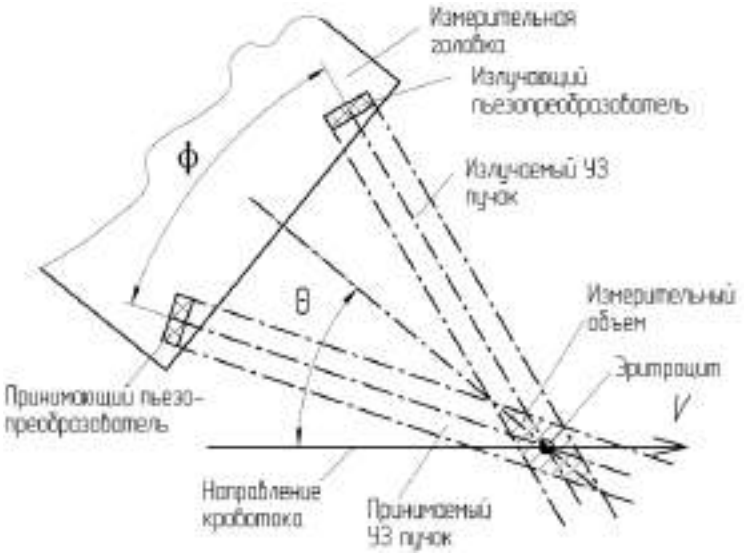


Рис. 3.30. Схема работы УЗ допплеровского прибора измерения кровотока

Угол Ф между осями преобразователей – не более 15°, поэтому $\cos\Phi/2 \approx 1$, следовательно

$$f_d \approx -f_s V\cos\Theta/c. \qquad (3.11)$$

Анализ выражения (3.11) позволяет сделать следующие выводы:

1. Допплеровский сдвиг частоты f_d пропорционален частоте излучения. Поскольку с увеличением частоты f_s и ширины УЗ-пучка возрастает затухание и снижается мощность рассеянного сигнала, то диапазон частот

f_s = 2 - 20 МГц, для которого f_d находится в звуковом диапазоне, что важно для проведения диагностики на слух.

2. Допплеровская частота f_d пропорциональна скорости движения отражателя (рассеивателя).

3. Допплеровская частота f_d обратно пропорциональна скорости звука в биологической ткани.

4. Допплеровская частота f_d зависит от угла между скоростью кровотока и биссектрисой измерительной головки, в частности, при $\Theta = \pi/2$ $f_d = 0$.

Этот принцип используется в диагностической аппаратуре двух типов:

– в допплеровском приборе непрерывного излучения;

– в импульсно-допплеровском измерителе кровотока.

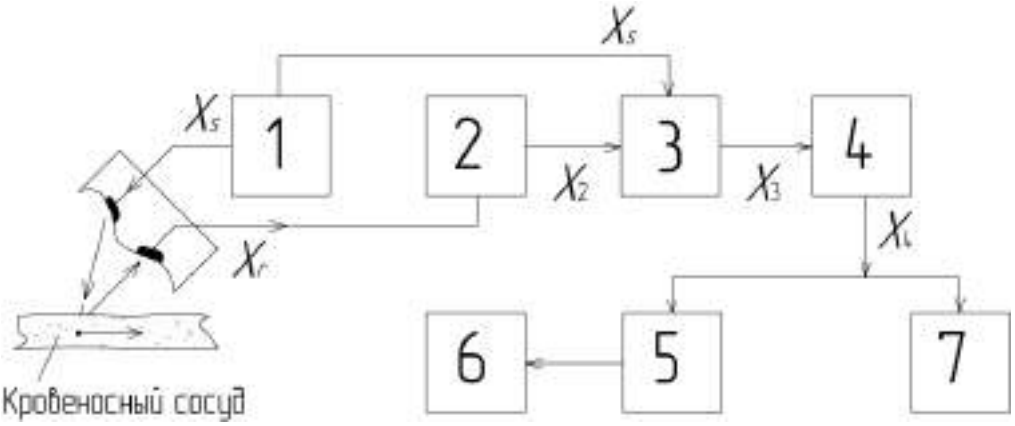


Рис. 3.31. Схема допплеровского прибора непрерывного излучения: *1* – УЗ-генератор; *2* – УВЧ; *3* – смеситель-умножитель; *4* – УНЧ полосовой фильтр; *5* – частотомер; *6* – регистрирующий прибор; *7* – акустическая головка

Прибор непрерывного излучения впервые был предложен Сатомурой в 1957 г. Излучающий пьезопреобразователь (рис. 3.31) соединен с генератором, работающим в диапазоне частот 2 - 20 МГц, и непрерывно излучает УЗ-пучок. УЗ-волны рассеиваются в измерительном объеме и отражаются, а затем улавливаются приемным пьезопреобразователем. Далее, электрические сигналы усиливаются и перемножаются с сигналом генератора. Затем, полезный сигнал отфильтровывается и подается на частотомер и акустическую головку.

Поясним его работу на следующем примере. Пусть излучатель генерирует сигнал $x_s = A_s \cos\omega_s t$, а сигнал, принимаемый приемником, в соответст-

вии с эффектом Допплера $x_r = A_r\cos[(\omega_s + \omega_d)t + \varphi]$, где $\omega_s = 2\pi f_s$, $\omega_d = 2\pi f_d$, φ – сдвиг фаз между излучаемым и принимаемым сигналами.

В усилителе высокой частоты (УВЧ) этот сигнал преобразуется в сигнал $x_2 = A_s x_r / A_r$, а сигнал на выходе смесителя-умножителя

$$x_3 = x_2 x_s = A_s^2 \cos\omega_s t A_r \cos[(\omega_s + \omega_d)t + \varphi] = \quad (3.12)$$
$$= 0{,}5A_s^2 \cos(\omega_d t + \varphi) + 0{,}5A_s^2 \cos[(2\omega_s + \omega_d)t + \varphi].$$

Второй член выражения (3.12) имеет двойную частоту $2\omega_s$, поэтому он легко отфильтровывается в усилителе низкой частоты (УНЧ) с полосовым фильтром. В результате на выходе УНЧ остается сигнал

$$x_4 = 0{,}5A_s^2 \cos(\omega_d t + \varphi),$$

который подается на частотомер, определяющий f_d, и акустическую головку, воспроизводящую звук с частотой допплеровского смещения частоты, по которому опытный врач определяет застойные зоны в сосудах.

УЗ-сигнал, воспринимаемый приемным пьезопреобразователем, содержит сигналы, не только рассеянные эритроцитами, но и намного большей амплитуды, отраженные от других структур (например, от границы жировой и мышечной ткани, стенок сосудов). Эти сигналы обычно на 40 - 50 дБ превышают сигналы от кровотока, кроме того, они могут обладать низкочастотным допплеровским сдвигом, вызванным пульсациями артерий или смещениями измерительной головки в руке врача. Для подавления таких мощных сигналов в УНЧ вводят фильтры верхних частот (так как скорость крови меньше скорости пульсаций). Побочный эффект фильтрации состоит в повышении вероятности потери низкочастотных допплеровских сигналов от кровотока. Для его устранения вводят НЧ-фильтр для ограничения мощности сигнала, верхняя частота среза которого устанавливается равной максимально ожидаемой частоте сдвига Допплера.

Поскольку внутри измерительного объема, ограниченного пересечением УЗ-пучков излучаемого и рассеянного сигналов, существует распределение скоростей кровотока в поперечном сечении сосуда, то допплеровский сигнал является суперпозицией допплеровских сигналов от каждого рассеивателя. Суммарный сигнал имеет сплошной спектр, а частотомер будет показывать лишь среднее значение из этих частот. Если фазовый угол φ известен, то можно определить среднюю скорость кровотока.

Импульсно-допплеровский измеритель скорости кровотока не имеет недостатка допплеровского прибора непрерывного излучения, заключающегося в невозможности разделения сигналов от различных точек УЗ-пучка (если на пути УЗ-пучка находятся два и более сосудов, лежащих в измерительном объеме, то допплеровский сигнал является смесью сигналов от каждого сосуда). С помощью прибора непрерывного излучения не возможно измерить профиль скорости крови по сечению сосуда. Для решения этой задачи создан импульсный измеритель кровотока (рис. 3.32).

Пространственное разрешение достигается благодаря периодическому излучению короткого (несколько периодов колебаний) импульса УЗ, частота повторения которого задается синхронизатором, а канал измерения открывается во время прохождения импульса. Пространственное разрешение достигается также за счет использования смесителя, в котором опорным сигналом служит задержанный во времени излученный сигнал.

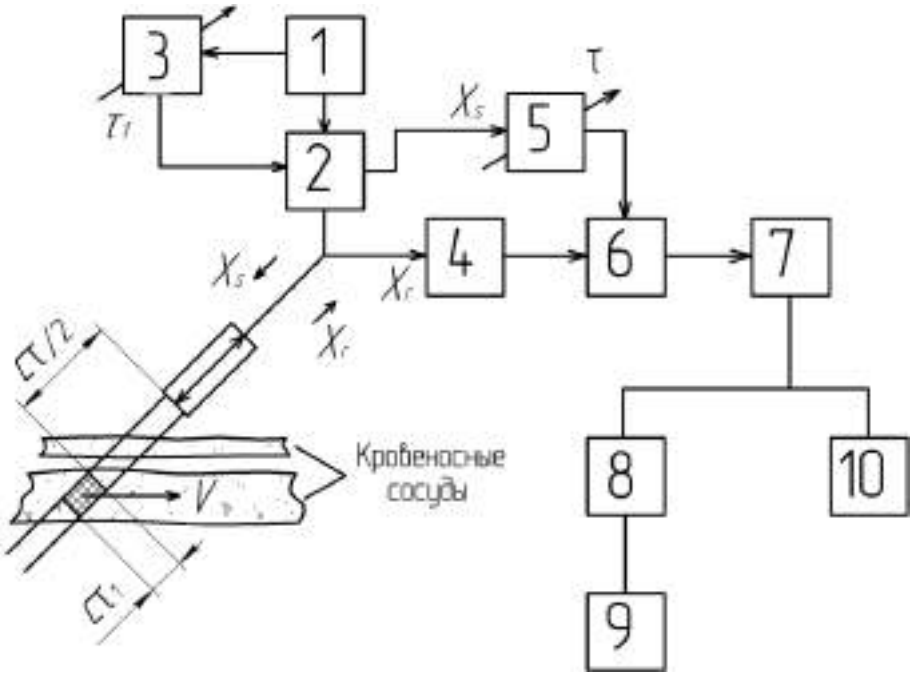


Рис. 3.32. Схема импульсного допплеровского прибора: *1* – УЗ-генератор; *2* – ключ; *3* – синхронизатор; *4* – УВЧ; *5* – устройство задержки времени; *6* – смеситель; *7* – УНЧ и полосовой фильтр, *8* – частотомер; *9* – регистрирующий прибор; *10* – акустическая головка

Поскольку излучение и прием разнесены во времени, то можно использовать один преобразователь одновременно в качестве излучателя и приемника. Такое устройство чувствительно к кровотоку лишь внутри оп-

ределенной области в излучаемом УЗ-пучке (измерительном объеме), длина которого пропорциональна продолжительности импульса. Время распространения излученного импульса до этого измерительного объема и обратно равно задержке τ между пачками измеренного и принятого сигналов.

Таким образом, варьируя значение задержки τ, измерительный объем можно перемещать вдоль пучка и использовать его для раздельного наблюдения кровотока на разных глубинах или в различных точках по сечению сосуда.

Ширина измерительного объема определяется шириной пучка, а длина – длительностью излучаемого и опорного импульса.

Описанный прибор одноканальный, для более быстрого съема информации существуют приборы с несколькими измерительными объемами. Перечисленные выше приборы в специальной литературе называют также дебитметрами. В качестве регистрирующей аппаратуры может служить самописец. Например, при исследовании сонной артерии анализируют систолическую составляющую скорости крови V_c, диастолическую составляющую скорости крови $V_д$ и сумму систолической и диастолической составляющих V. При нормальном состоянии сонной артерии кровоток ни в одной из фаз сердечного цикла не должен достигать нуля, т. е. кровь должна двигаться по сонной артерии постоянно. Изменение соотношений между V_c, $V_д$ и V свидетельствует о заболевании кровеносной системы.

Основная область применения допплеровского метода при исследовании кровотока – это обнаружение его нарушений, вызванных поражениями стенок сосудов. Возмущения в потоке крови приводят к расширению диапазона скоростей и углов между вектором скорости и осями УЗ-пучков. Поэтому увеличивается диапазон допплеровских частот, что фиксируется прибором. Кроме того, отмечается значительное увеличение мощности отраженного сигнала при появлении турбулентных потоков.

Другая известная область применения допплеровского измерителя кровотока – это контроль объемного расхода крови в аппарате искусственного кровообращения, о котором речь пойдет ниже.

3.6. Мехатронный аппарат искусственного кровообращения

В современной хирургии широко применяется техника, которая представлена различными мехатронными комплексами, помогающими хирургам проводить сложнейшие операции. Особенность таких систем состоит в том, что объектом медицинского воздействия является человек. Сенсорные устройства, осуществляющие управление автоматическим оборудованием, подключенным к пациенту, должны обеспечивать обратную связь с максимальной надежностью и достоверностью. Во время хирургического вмешательства мониторинг состояния пациента производится по многим физическим и химическим параметрам. Программное обеспечение такой аппаратуры должно работать в широком спектре режимов и предлагать врачу наиболее подходящий вариант. Аппарат искусственного кровообращения является одним из наиболее сложных с точки зрения управления мехатронным оборудованием медицинского назначения (рис. 3.33).

Искусственное кровообращение (ИК), иначе экстракорпоральное кровообращение, искусственная перфузия, – способ поддержания кровотока в организме, отдельном органе или отдельной области тела искусственным путем. Аппарат искусственного кровообращения (АИК) – это аппарат, обеспечивающий оптимальный уровень кровообращения и обменных процессов в организме пациента или в изолированном органе донора. Он предназначен для временного выполнения функций сердца и легких. Разработка аппарата проводилась уже с 1885 г. Фрем и Грубером (Англия). Но первый аппарат для искусственого кровообращения теплокровного организма, так называемый автожектор, был создан в 1925-м советским учёным С. С. Брюхоненко. При помощи этого аппарата советский ученый Н. Н. Теребинский в 1930г. экспериментально доказал возможность успешной операции на клапанах сердца.



Рис. 3.33.Современный АИК

В СССР первую операцию на «сухом» сердце осуществили в 1957-м А. А. Вишневский и Н. М. Амосов.

В настоящее время применяют три метода ИК:

– общее ИК;

– регионарное ИК;

– вспомогательное ИК.

Общее ИК – наиболее распространенный метод. В нем предусматривается полная замена насосной функции сердца и газообменной функции легких механическими устройствами на непродолжительное время (несколько часов). Общее ИК применяется в кардиохирургии, т. е. при операциях на сердце, например при аортокоронарном шунтировании или при замене клапана сердца.

Региональное ИК – перфузия отдельного органа или области организма, временно изолированной от остальной сосудистой системы. Оно применяется главным образом в онкологии, гнойной хирургии для подведения больших концентраций лекарственных веществ к очагу поражения.

Вспомогательное кровообращение используют как дополнительный метод, с помощью которого уменьшается нагрузка на сердце.

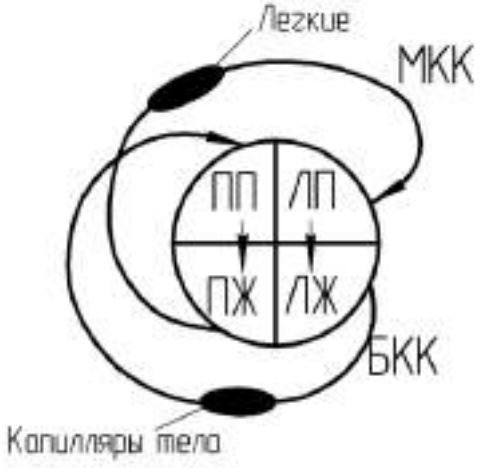


Рис. 3.34. Схема кровообращения человека

В человеческом организме система кровообращения (рис. 3.34) имеет два круга: малый (МКК) и большой (БКК). При дыхании насыщенная кислородом кровь попадает из капилляров легких в левое предсердие (ЛП), далее через митральный клапан (это фактически обратный клапан) – в левый желудочек (ЛЖ). При сокращении мышц сердца артериальная кровь

выдавливается через аортальный клапан в большой круг кровообращения для питания кислородом всего организма. Далее венозная кровь возвращается к сердцу, проходит через правое предсердие и правый желудочек и поступает в капилляры легких, где происходит удаление углекислого газа и насыщение крови кислородом. Таким образом, движение крови в организме происходит по своеобразной «восьмерке».

ИК, необходимое при операциях на сердце, осуществляется с помощью перфузионного аппарата (иначе АИК). Любой АИК состоит из двух блоков:

– физиологический;

– механический.

К физиологическому блоку относятся все элементы, соприкасающиеся с кровью, а к механическому блоку – элементы приводов, корпус, информационно-измерительные устройства для контроля характеристик насосов, температуры и т. д.

К АИК предъявляются следующие требования:

– АИК на протяжении всей перфузии должен надежно поддерживать заданный минутный объем кровообращения в организме (4-5 л/мин для взрослого больного) и заданную температуру циркулирующей крови.

– должна обеспечиваться адекватная артериализация крови: насыщение ее кислородом не ниже 95 % и поддержание напряжения (парциального давления) углекислого газа на уровне 35-45 мм рт. ст.

– АИК должен обеспечивать заполнение кровью объема примерно 3 л для взрослого.

– АИК должен быть снабжен устройством для возврата в циркулирующий контур крови, изливающейся из вскрытых кровеносных сосудов.

– Травма крови в АИК должна быть минимальной (травма крови выражается в том, что при прохождении крови через АИК часть эритроцитов перестает выполнять функцию переноса кислорода).

Физиологический блок изготавливают из нетоксичного материала, химически инертного по отношению к крови, он обеспечивает очистку и стерилизацию в условиях клиники.

Для успешного выполнения операций на открытом сердце АИК должен иметь сложную систему управления, позволяющую проводить посто-

янный мониторинг параметров как пациента, так и физиологического блока. Современный АИК является мехатронным аппаратом, так как в его узлы интегрированы не только механические, электромеханические и гидрогазовые компоненты, но и сложнейшие сенсорные устройства, от надежности которых зависит жизнь пациента.

Физиологический блок (ФБ). Подключается к пациенту и представляет собой экстракорпоральную (т. е. находящуюся вне организма) систему с замкнутым контуром, по которому движется кровь. Основные функциональные элементы ФБ:

– оксигенатор («искусственное легкое»);

– артериальный насос («искусственное сердце»).

В ФБ кровь циркулирует следующим образом (рис. 3.35). Во время операции отсекается ввод полой вены в правое предсердие, а венозная кровь из большого круга кровообращения по катетеру поступает в АИК в венозный приемник с фильтром *1*.

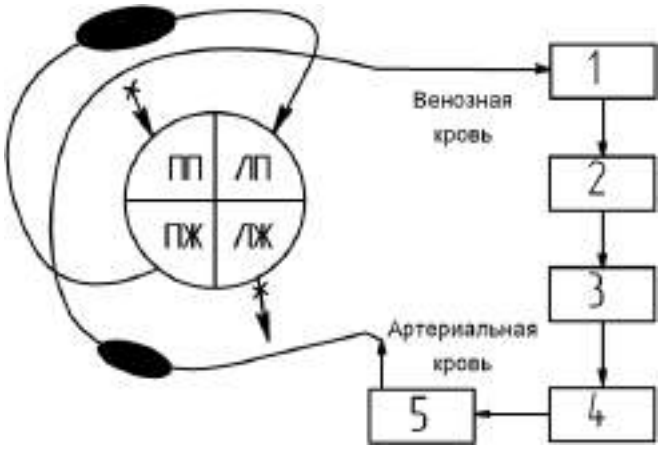


Рис. 3.35. Схема подключения АИК к кровеносной системе пациента

Далее кровь проходит через артериальный насос *2* и поступает в теплообменник *3*, где охлаждается до температуры 33 ^{0}С (в конце операции температуру крови повышают до нормальной). Из теплообменника *3* кровь попадает в оксигенатор *4*, где насыщается кислородом и отдает углекислый газ. Далее через артериальный фильтр *5* с ловушкой пузырьков и сгустков кровь попадает в артериальное русло больного. Следует отметить, что во время операции на сердце оно не должно сокращаться, поэтому в организме пациента МКК не функционирует.

В ФБ входит также система коронарного отсоса, предназначенная для использования крови, вытекающей из рассеченных тканей и органов.

Газогидравлическая схема АИК с элементами сенсорики представлена на рис. 3.36. Рециркуляционный канал в АИК открывается только во время наполнения его донорской кровью перед началом операции в целях вытеснения пузырьков из оксигенатора.

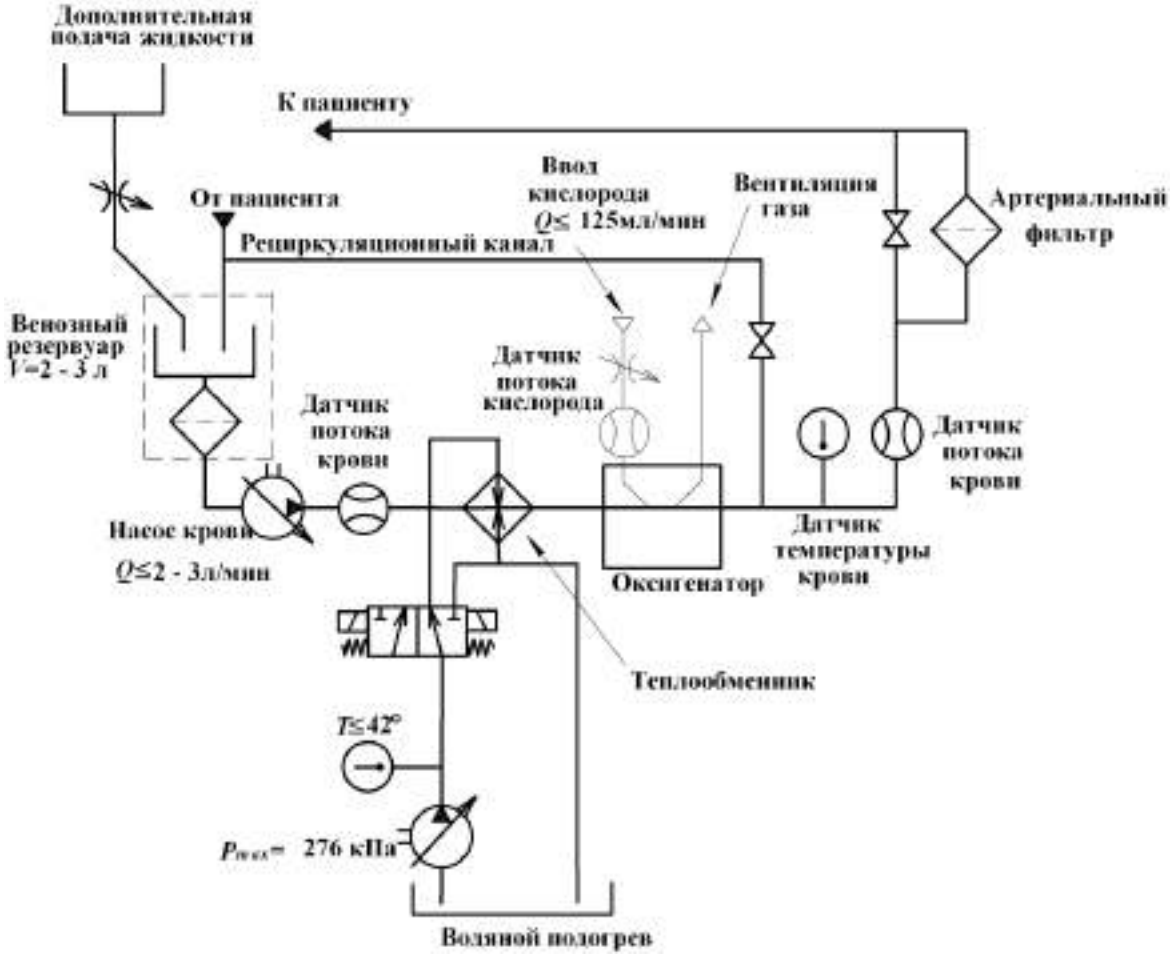


Рис. 3.36. Газогидравлическая схема АИК

В газогидравлическую схему АИК входят контуры крови, воды теплообменника, контур кислорода и контур отвода углекислого газа (на схеме показаны тонкими линиями).

Оксигенаторы (ОГ). Физиология легких человека такова, что механическая копия на сегодняшний день невозможна (неосуществима). Основная трудность – получение пленки крови слоем в один эритроцит, а площадью – примерно 100 м^2 при условии сохранения небольших размеров такого устройства. Однако возможно компромиссное решение на ос-

нове следующих принципов. Во-первых, устройство для газообмена может иметь значительно меньшую производительность, чем естественное легкое, которое рассчитано на интенсивную физическую деятельность. С помощью этого устройства осуществляется газообмен только при условии, когда человек находится в покое, т. е. достаточно 200-300 мл кислорода в минуту.

Во-вторых, из законов диффузии следует, что трудности создания тонкой пленки крови в оксигенаторе могут быть скомпенсированы в известных пределах за счет следующих факторов:

- увеличение парциального давления кислорода над кровью;
- увеличение времени контакта крови с кислородом;
- перемешивание крови в контактирующем слое.

Эти идеи в оксигенаторах реализуются таким образом:

- в ОГ подается чистый кислород при атмосферном давлении, поэтому его парциальное давление в семь раз больше, чем в воздухе и в альвеолах легких;
- медленный пассаж (скорость) крови через ОГ.

Работа капиллярного оксигенатора (рис. 3.37) заключается в том, что кислород, проходя под повышенным давлением по тонким трубочкам (капиллярам) с внутренним диаметром примерно 0,3 мм, имеющим поры в стенках диаметром 3 мкм (эритроциты через них не проходят), через поры выделяется малыми порциями наружу. Таким образом, молекулы кислорода «мягко» взаимодействуют с кровью, омывающей снаружи эти капилляры:

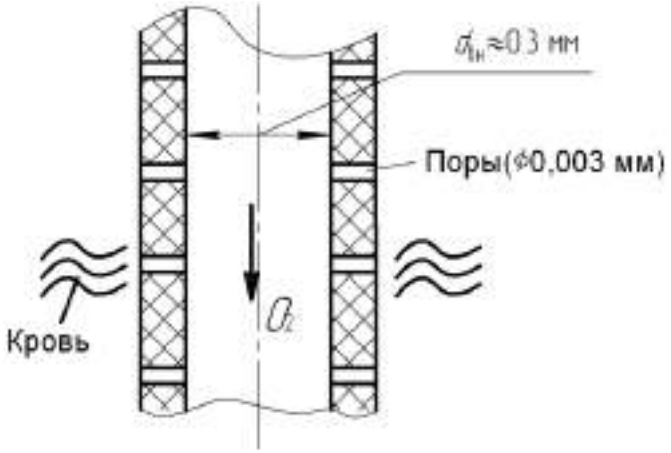


Рис. 3.37. Полипропиленовый пористый полый капилляр

эритроциты захватывают молекулы кислорода и отдают молекулы углекислого газа без образования тромбов (сгустков крови). Технология производства таких пористых капилляров из полипропилена является технологическим секретом фирм, производящих оксигенаторы. В современном оксигенаторе фирмы MINIMAX (рис. 3.38) собственно оксигенатор объединен с водяным теплообменником. Он служит для управления температурным режимом ИК. С помощью оксигенаторов осуществляется метод экстракорпорального охлаждения крови (так называемая гипотермическая перфузия).

Венозная кровь, поступившая от артериального насоса, проходит в теплообменнике вокруг трубок с водой, отдавая или забирая тепло воды. Далее по центральному каналу кровь поднимается в верхнюю часть оксигенатора, изливаясь в его верхней части. Здесь же скапливается углекислый газ, выделяемый кровью.

Затем кровь через отверстия проходит к намотанным на катушку пористым полипропиленовым капиллярам, по которым (как по трубочкам) идет к изолированным торцам этих капилляров сверху (впуск газа) кислород. Благодаря тому что капилляры пористые, кислород малыми порциями соприкасается снаружи капилляров с эритроцитами венозной крови, которые присоединяют к себе молекулы кислорода, в то же время отдавая молекулы углекислого газа. Углекислый газ в виде пузырьков поднимается вверх и удаляется из оксигенатора вместе с кислородом (отвод венозного воздуха). Кислород, пройдя по капиллярам сверху вниз, удаляется в атмосферу (отвод газа). Насыщенная кислородом артериальная кровь, просачиваясь сверху вниз снаружи капилляров, намотанных на катушку, удаляется через нижний штуцер оксигенатора (выход артериальной крови) в трубку, соединенную с артериальным фильтром.

В конструкции оксигенатора предусмотрены специальные штуцеры, предназначенные для подключения датчиков параметров крови.

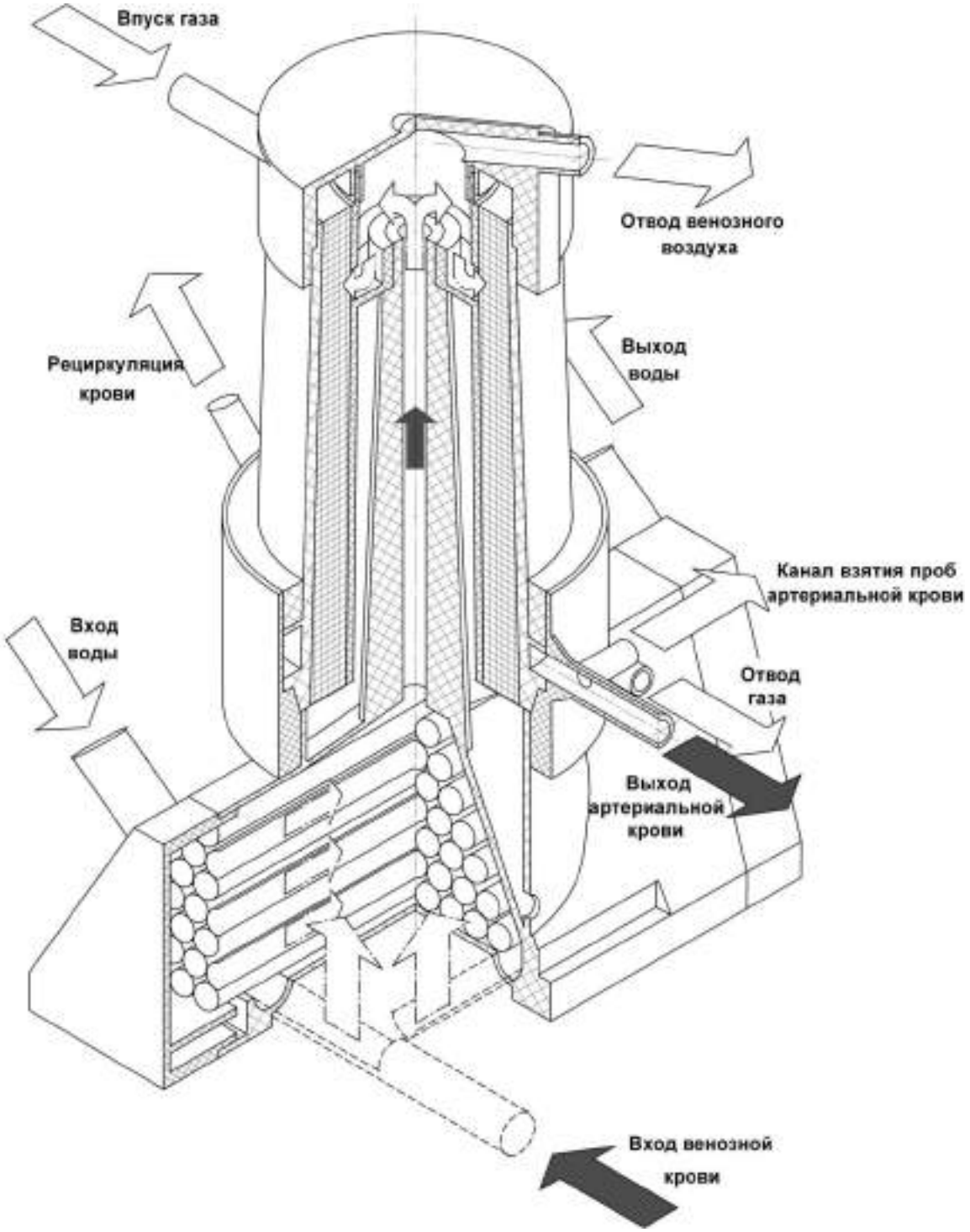


Рис. 3.38. Оксигенатор

Насосы. Артериальные насосы в АИГ выполняют нагнетательную функцию сердца (рис. 3.39). Их производительность должна быть равна минутному объему сердца в покое, т. е. 4 - 5 л/мин для взрослого пациента.



Рис. 3.39. Артериальный насос для АИК

Специфические требования к насосам для АИК:

- минимальная травматизация крови;
- высокая надежность в работе;
- обеспечение простой очистки и стерилизации.

В АИК применяют насосы двух типов: клапанные и бесклапанные. Клапанные насосы могут иметь внутренние или наружные клапаны. Типичные конструкции – это мембранные и камерные насосы.

Бесклапанные насосы работают по принципу перистальтических насосов, в которых кровь выдавливается из эластичной трубки путем прокатывания по ней роликов (рис. 3.40) или попеременного пережатия ее механическими «пальцами» (соответственно насосы роликовые и пальчиковые). Часто для повышения надежности в АИК монтируют два насоса, один из которых рабочий, а другой – резервный.

Роликовые насосы производят волнообразное плавное пережатие эластичной трубки, вследствие чего обеспечивается низкая травма крови.

Регулировку давления в гидросистеме можно производить при помощи редукционного клапана, однако при прокачке крови такое решение мало приемлемо, так как возможна серьезная травма крови. Один из вариантов устройства ограничения давления, создаваемого насосом в АИК, показан на рис. 3.41. В таком устройстве водила роликов выполнены подпружиненными. Изменяя при помощи передачи винт–гайка силу пружины, можно регулировать силу прижима ролика к трубке. При превышении сопротивления течению крови заданного уровня пружина будет сжиматься, и трубка не будет полностью пережата роликом. Граничные значения силы пружины можно задавать положением датчиков (например, герконов).

Теоретическая производительность насоса

$$Q = \omega \quad R_{\text{í}} \frac{\pi d_T^2}{4},$$

где R_{i} – средний радиус криволинейной оси трубки; $d_{\text{ò}}$ – внутренний диаметр трубки; ω – угловая скорость водила роликов.

Полезную мощность насоса N_{i} можно оценить по формуле

$$N_{\text{i}} = p_{\text{i}} Q = M \omega \eta,$$

где p_{i} – артериальное давление, создаваемое насосом, M – момент на валу насоса, $\eta = 0{,}6\text{-}0{,}8$ – к.п.д. насоса.

Все артериальные насосы создают пульсирующий поток крови. Их различают по величине амплитуды пульсаций: насосы с большой амплитудой и насосы с малой амплитудой. У медиков существует различное мнение по поводу того, какие насосы лучше (например, насосы с большой амплитудой по силе пульсаций близки человеческому сердцу, поэтому выдвигалось предположение, что они лучше).

Экспериментальные исследования показали, что при большой амплитуде пульсаций давления высока вероятность турбулизации потока крови, что приводит к повышению травмированности крови.

Дополнительные и вспомогательные узлы функционального блока АИК. Это в основном коронарный отсос (КО). Кровь, изливающаяся во время перфузии в операционную рану, подлежит возврату в АИК, так как такой материал очень дорогой. Для этого служит система коронарного отсоса (название «коронарный» она получила из-за ее использования при

операциях на сердце). Применяют два вида КО: с внешней вакуумной системой и без нее. Для первого вида недостатком является вероятность подмешивания воздуха, во втором – необходимость дополнительного роликового насоса, однако в последнем случае вероятность травмы крови мала. К вспомогательным узлам физиологического блока относят также сосуды для резервной крови, фильтры, ловушки для пузырьков.

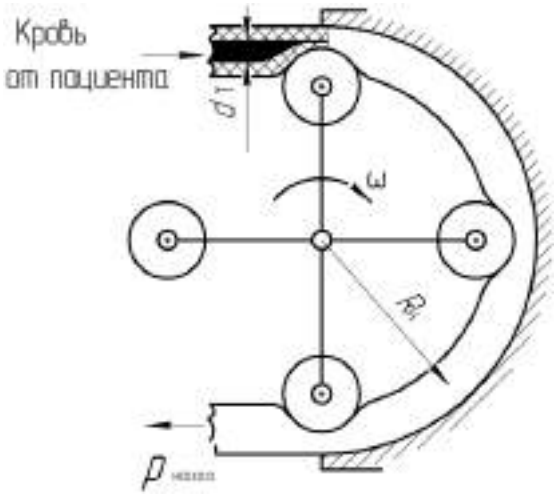


Рис. 3.40. Схема работы роликового насоса

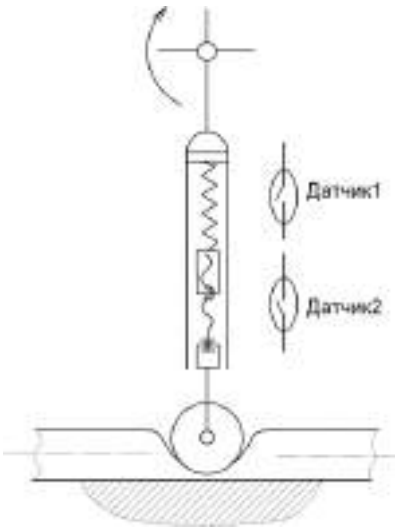


Рис. 3.41. Устройство ограничения давления насоса

Система управления АИК. Включает в себя два блока: система мониторинга состояния пациента и система управления параметрами АИК. Специализированный компьютер, имеющий порт сбора данных и порт управляющих сигналов, выполняет функции двух указанных блоков (рис. 3.42). Новейшие системы управления АИК оснащены интеллектуальным программным обеспечением. Оно позволяет управлять АИК в режиме реального времени. Сложность состоит в том, что реакция организма пациента на изменение параметров крови происходит с задержкой времени, причем эта реакция может иметь множество вариантов. Поэтому применяется программирование с использованием принципов нечеткой логики, для чего в компьютере установлен WARP-процессор.

При проведении операции на сердце производится постоянный мониторинг параметров пациента и системы кровообращения, а именно контроль:

1. артериального давления и пульса (перед остановкой сердца и после);
2. температуры тела пациента;
3. содержания гемоглобина в венозной крови;
4. насыщенности кислородом венозной крови;
5. температуры крови после ее выхода из оксигенатора;
6. давления крови после ее выхода из насоса;
7. температуры воды в теплообменнике;
8. подачи воды в теплообменник;
9. давления крови после ее выхода из артериального фильтра;
10. подачи крови после ее выхода из насоса и оксигинатора;
11. содержания CO_2 в крови после ее выхода из оксигенатора;
12. содержания CO_2 в вентиляционном канале;
13. подачи O_2 в оксигенатор;
14. наличия пузырьков.

В АИК автоматически поддерживаются следующие параметры крови:

- температура;
- подача (объемный расход крови);
- давление.

Кроме того, можно давать рекомендации по выбору режимов работы АИК и принятию решений в различных сложных ситуациях, когда программа не имеет однозначного ответа. Программное обеспечение позволяет проводить диагностику всех систем АИК, определять дефектные элементы системы как перед началом работы, так и во время операции (например, при засорении артериального фильтра компьютер выдает рекомендацию по его замене непосредственно во время операции – для этого предусмотрен обходной канал с зажимом).

Модуль многоцелевого дисплея (ММД), обеспечивающий работу монитора, помещается в контрольное табло, где врач может отслеживать важнейшие параметры всего процесса.

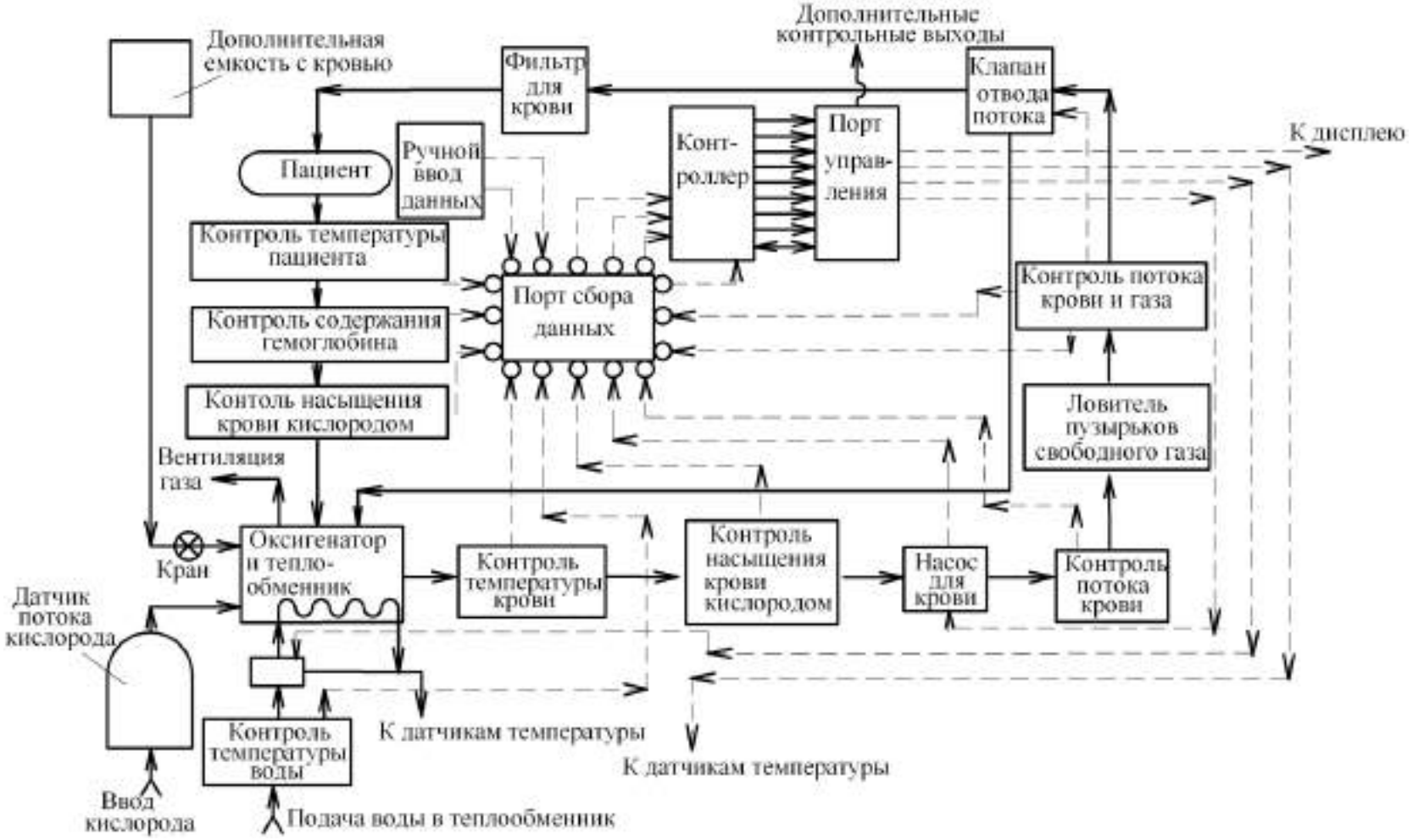


Рис. 3.42. Функциональная схема системы управления

Эти параметры включают в себя температуру пациента, число сердечных сокращений, центральное венозное давление и другие показатели давления от внешний устройств, а также показатели газов крови (pH, pCO_2, pO_2, SO_2, HB, HCT, HCO_3) и кислотно-щелочного состояния.Более того, ММД дает возможность пользователю определять и показывать разницу между любыми двумя из четырех значений давления, измеряемых модулем двойного контроля давления. Характерной чертой модуля является наличие четырех многоцелевых дисплеев, на которых устройства/параметры выбираются по желанию. Этот выбор может быть изменен в любое время. Внешние устройства подключаются через цифровой либо аналоговый интерфейс.

Библиографический список

1. Мехатроника : [пер. с япон.] / Т. Исии [и др.]. – М : Мир, 1988.
2. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования РФ. Направление подготовки дипломированного специалиста 652000 – Мехатроника и робототехника / Министерство образования РФ //
3. **Подураев Ю. В.** Мехатроника : основы, методы, применение : учеб. пособие для студентов вузов /Ю.В. Подураев – М. : Машиностроение, 2006.
4. Пат. 568346 СССР. Механическая рука / Риддерстрам Г. А. Заявл. 18.02.74.
5. **Жавнер В.Л.** Мехатронные принципы проектирования технологического оборудования /Жавнер В. Л., Смирнов А. Б. // Конструктор-машиностроитель. – 2008. – № 3. – С. 12 – 15.
6. **Аршанский М. М.** Мехатроника: основы глоссария / М. М.Аршанский, Шалобаев Е.В. // Мехатроника. – 2003. – № 4. – С. 47 – 48.
7. **Смирнов А.Б.** Элементная база автоматических машин. Мехатронные модули микроперемещений технологических машин: учеб. пособие / А.Б. Смирнов. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008.
8. **Левин А. И.** Математическое моделирование в исследованиях и проектировании станков / А. И. Левин. – М. : Машиностроение, 1978.
9. **Баутин Н. Н.** Динамическая теория часов: Стабилизация периода в колебательных системах с двумя степенями свободы / Н. Н. Баутин. – М. : Наука, 1986.
10. ГОСТ Р.8. 579–2001. Требования к количеству фасованных товаров в упаковках любого вида при их производстве, расфасовке, продаже и импорте. – М., 2001.
11. Манипуляционные системы роботов /А. И. Корендясев [и др.]. – М. : Машиностроение, 1989.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А.Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА Б1.В.03 ДЕТАЛИ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Направление
15.03.06 Мехатроника и робототехника

Профиль

Мехатроника и робототехника промышленных производств

Авторы: Таугер В.М.

Одобрена на заседании кафедры
Технической механики
(название кафедры)
Зав. кафедрой _____
(подпись)
Волков Е.Б.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 1 от 15.09.2023
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета
Горно-механического
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)

Екатеринбург

Задания к курсовому проекту составлены в соответствии с учебным планом по дисциплине «Детали мехатронных модулей» для студентов направления ***15.03.06 Мехатроника и робототехника***.

Задания содержат общие требования к курсовому проекту и 6 различных кинематических схем двухступенчатых редукторов. Для каждой схемы предусмотрены 6 вариантов исходных данных.

Составитель: В.М. Таугер, канд. техн. наук, доцент кафедры «Техническая механика».

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ……..4

2. ЗАДАНИЯ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ 5

2.1. Коническо-цилиндрический редуктор 5
2.2. Двухступенчатый цилиндрический соосный редуктор 6
2.3. Двухступенчатый цилиндрический трехосный редуктор 6
2.4. Двухступенчатый цилиндрический трехосный редуктор 7
2.5. Двухступенчатый планетарный редуктор 8
2.6. Червячно-цилиндрический редуктор 9
2.7. Графики сменной нагрузки 10

БИБШЮГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК …… …11

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Изучение курса «ДЕТАЛИ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ» заканчивается курсовым проектом - практической работой, выполняемой студентом под руководством преподавателя.

Темой курсового проекта является проектирование двухступенчатого редуктора. Задание на проект выдается преподавателем каждому студенту индивидуально.

Состав проекта: расчетно-пояснительная записка; сборочный чертеж редуктора; спецификация;

чертежи четырех основных деталей передач.

Расчетно-пояснительная записка оформляется в соответствии со стандартом на текстовые документы [1] на листах формата А4. Она должна содержать обоснование основных конструктивных решений и все расчеты, необходимые для разработки редуктора [2, 3, 4].

Сборочный чертеж редуктора выполняется на одном листе формата А1 в соответствии с требованиями ЕСКД и действующими стандартами.

К сборочному чертежу прилагается спецификация, выполняемая по ЕСКД.

Чертеж каждой детали выполняется на листе формата А3. К основным деталям передач относятся шестерни, зубчатые колеса, червяки, червячные колеса, валы для установки зубчатых или червячных колес. Студент сам выбирает детали, причем необходимо соблюдение следующего условия: две из вычерчиваемых деталей должны составлять зубчатую (а в задании 6 - червячную) пару, например, шестерня и зубчатое колесо быстроходной ступени. Чертежи должны содержать всю конструкторско-технологическую информацию, необходимую для изготовления деталей в соответствии с их назначением.

Оценка за курсовое проектирование выставляется по результатам проверки проекта преподавателем и защиты его студентом.

2. ЗАДАНИЯ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

2.1. Коническо-цилиндрический редуктор

Спроектировать коническо-цилиндрический редуктор, кинематическая схема которого показана на рис. 2.1. Быстроходная ступень – с круговым зубом, тихоходная – косозубая.

Исходные данные – см. табл. 2.1.

При выборе передаточных чисел ступеней использовать рекомендации табл. 2.2. Коэффициент ширины тихоходной ступени принять $\psi_{ba} = 0{,}315$.

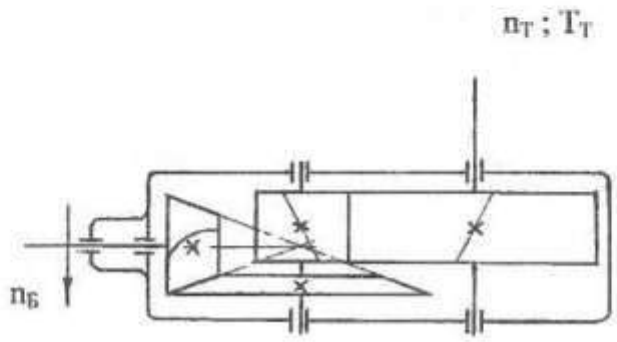


Рис. 2.1

Таблица 2.1

Исходные данные для проектирования коническо-цилиндрического редуктора

Параметр	Вариант					
	1	2	3	4	5	6
Частота вращения быстроходного вала, $n_Б$, об/мин	3000	1500	1000	750	3000	1500
Частота вращения тихоходного вала, $n_Т$, об/мин	130	85	63	54	270	188
Крутящий момент на тихоходном валу, $T_Т$, Нм	1600	800	1250	1000	1400	1800
График сменной нагрузки по рис. 2.7	а	б	в	г	д	а
Срок службы, лет	3	5	8	3	5	8

Таблица 2.2

Передаточные числа быстроходной ступени

Передаточное число редуктора u	8; 9	10; 11,2	12,5; 14	16	≥18
Передаточное число быстроходной ступени $u_Б$	3,15	3,55	4	4,5	5

2.2. Двухступенчатый цилиндрический соосный редуктор

Спроектировать двухступенчатый цилиндрический соосный редуктор, кинематическая схема которого показана на рис. 2.2. Обе ступени косозубые.

Исходные данные – см. табл. 2.3.

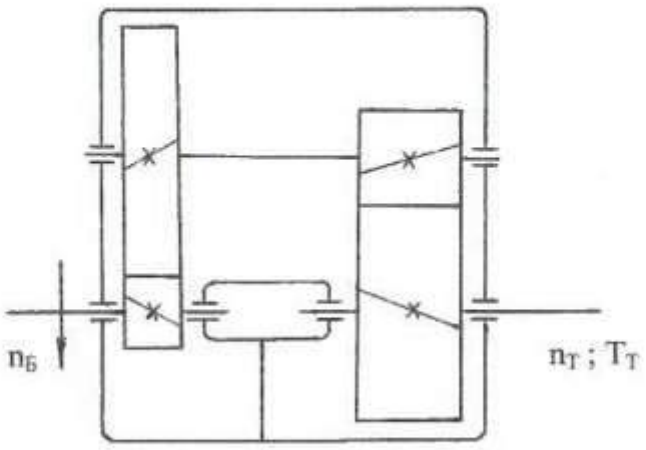


Рис. 2.2

Таблица 2.3

Исходные данные для проектирования двухступенчатого цилиндрического соосного редуктора

Параметр	Вариант					
	1	2	3	4	5	6
Частота вращения быстроходного вала, $n_Б$, об/мин	750	1000	1500	3000	1500	3000
Частота вращения тихоходного вала, $n_Т$, об/мин	67	71	75	67	60	75
Крутящий момент на тихоходном валу, $T_Т$, Нм	1000	1600	1250	800	1800	1400
График сменной нагрузки по рис. 2.7	а	б	в	г	д	а
Срок службы, лет	8	5	4	3	5	3

2.3. Двухступенчатый цилиндрический трехосный редуктор

Спроектировать двухступенчатый цилиндрический трехосный редуктор, кинематическая схема которого показана на рис. 2.3. Обе ступени косозубые.

Исходные данные – см. табл. 2.4.

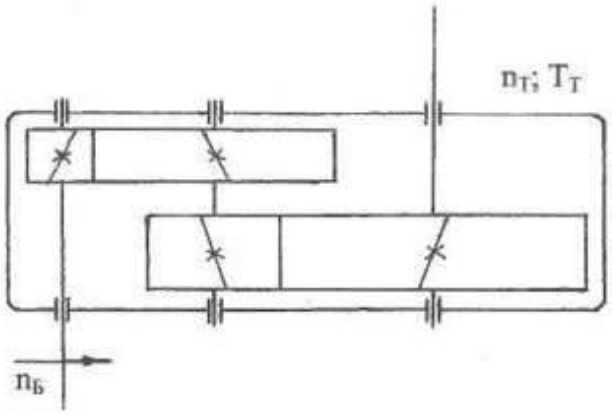


Рис. 2.3

Таблица 2.4

Исходные данные для проектирования двухступенчатого цилиндрического трехосного редуктора

Параметр	Вариант					
	1	2	3	4	5	6
Частота вращения быстроходного вала, $n_Б$, об/мин	750	1000	1500	3000	1500	3000
Частота вращения тихоходного вала, n_T, об/мин	67	71	75	85	60	110
Крутящий момент на тихоходном валу, T_T, Нм	1000	1600	1250	800	1800	1400
График сменной нагрузки по рис. 2.7	а	б	в	г	д	а
Срок службы, лет	8	5	4	3	5	3

2.4. Двухступенчатый цилиндрический трехосный редуктор

Спроектировать двухступенчатый цилиндрический трехосный редуктор, кинематическая схема которого показана на рис. 2.4. Быстроходная ступень – разнесенный шеврон.

Исходные данные – см. табл. 2.4.

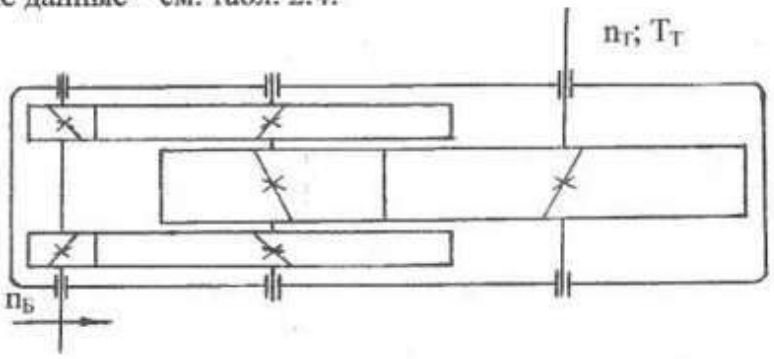


Рис. 2.4

2.5. Двухступенчатый планетарный редуктор

Спроектировать двухступенчатый планетарный редуктор, кинематическая схема которого показана на рис. 2.5. Обе ступени прямозубые.

Исходные данные – см. табл. 2.5.

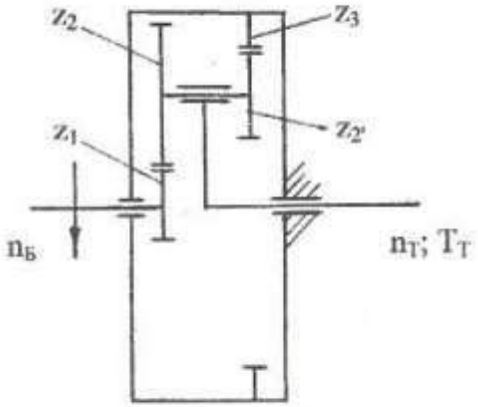


Рис. 2.5

Рекомендуемые числа зубьев указаны в табл. 2.6. Число сателлитов для всех вариантов равно трем.

Таблица 2.5

Исходные данные для проектирования двухступенчатого планетарного редуктора

Параметр	Вариант					
	1	2	3	4	5	6
Частота вращения быстроходного вала, $n_Б$, об/мин	750	1000	1500	3000	1500	3000
Частота вращения тихоходного вала, $n_Т$, об/мин	60	71	75	188	150	170
Крутящий момент на тихоходном валу, $T_Т$, Нм	1000	1600	1250	800	1800	1400
График сменной нагрузки по рис. 2.7	а	б	в	г	д	а
Срок службы, лет	8	5	4	3	5	3

Таблица 2.6

Рекомендуемые числа зубьев колес планетарного редуктора

Стандартное передаточное число редуктора u	10	12,5	14	16	18	20
z_1	18					
z_2	54		64	54	63	72
$z_{2'}$	36	27	32	18	21	24
z_3	108	99	114	90	102	114

2.6. Червячно-цилиндрический редуктор

Спроектировать червячно-цилиндрический редуктор, кинематическая схема которого показана на рис. 2.6. Быстроходная ступень – червячная с архимедовым червяком, тихоходная – цилиндрическая косозубая.

Исходные данные – см. табл. 2.7.

Таблица 2.7

Исходные данные для проектирования червячно-цилиндрического редуктора

Параметр	Вариант					
	1	2	3	4	5	6
Частота вращения быстроходного вала, $n_Б$, об/мин	750	1000	1500	3000	1500	3000
Частота вращения тихоходного вала, $n_Т$, об/мин	26	25	30	24	19	48
Крутящий момент на тихоходном валу, $T_Т$, Нм	1000	1600	1250	1400	1800	1120
График сменной нагрузки по рис. 2.7	а	б	в	г	д	а
Срок службы, лет	8	5	4	3	5	3

В редукторах с передаточным числом $u \leq 50$ принимать передаточное число быстроходной ступени $u_Б = 8$.

В редукторах с $u > 50$ принимать передаточное число тихоходной ступени $u_Т = 6{,}3$.

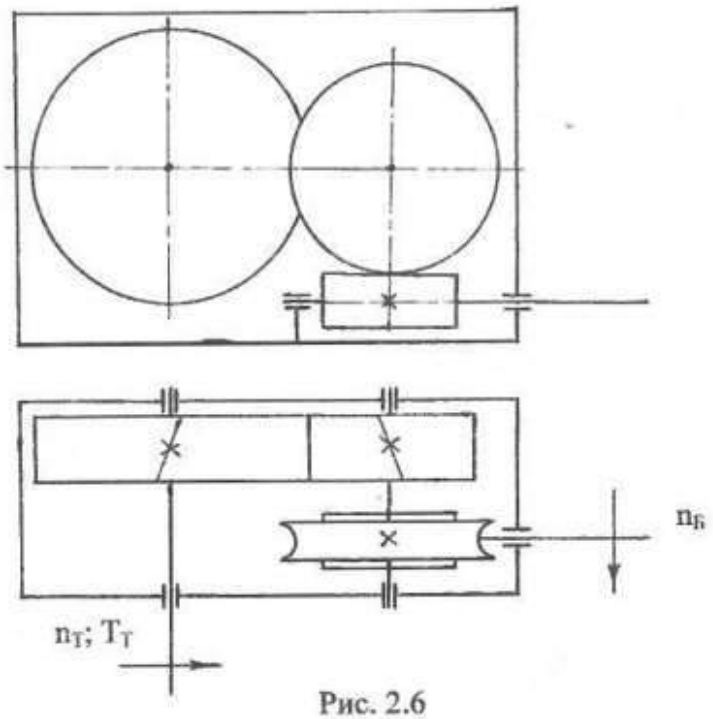


Рис. 2.6

2.7. Графики сменной нагрузки

Графики нагрузки редукторов в течение смены приведены на рис. 2.7.

Обозначения: $T_{ном}$ – номинальный крутящий момент; $T_{пик} = 2{,}5T_{ном}$ – пиковый момент; T_1, T_2, T_3 – значения нагрузки в течение смены; $t_{см}$, t_1, t_2, t_3 – продолжительность действия нагрузки соответствующей величины в течение смены; $n_{см}$ – число рабочих смен в сутки. Число рабочих дней в году $n_{рд} = 240$.

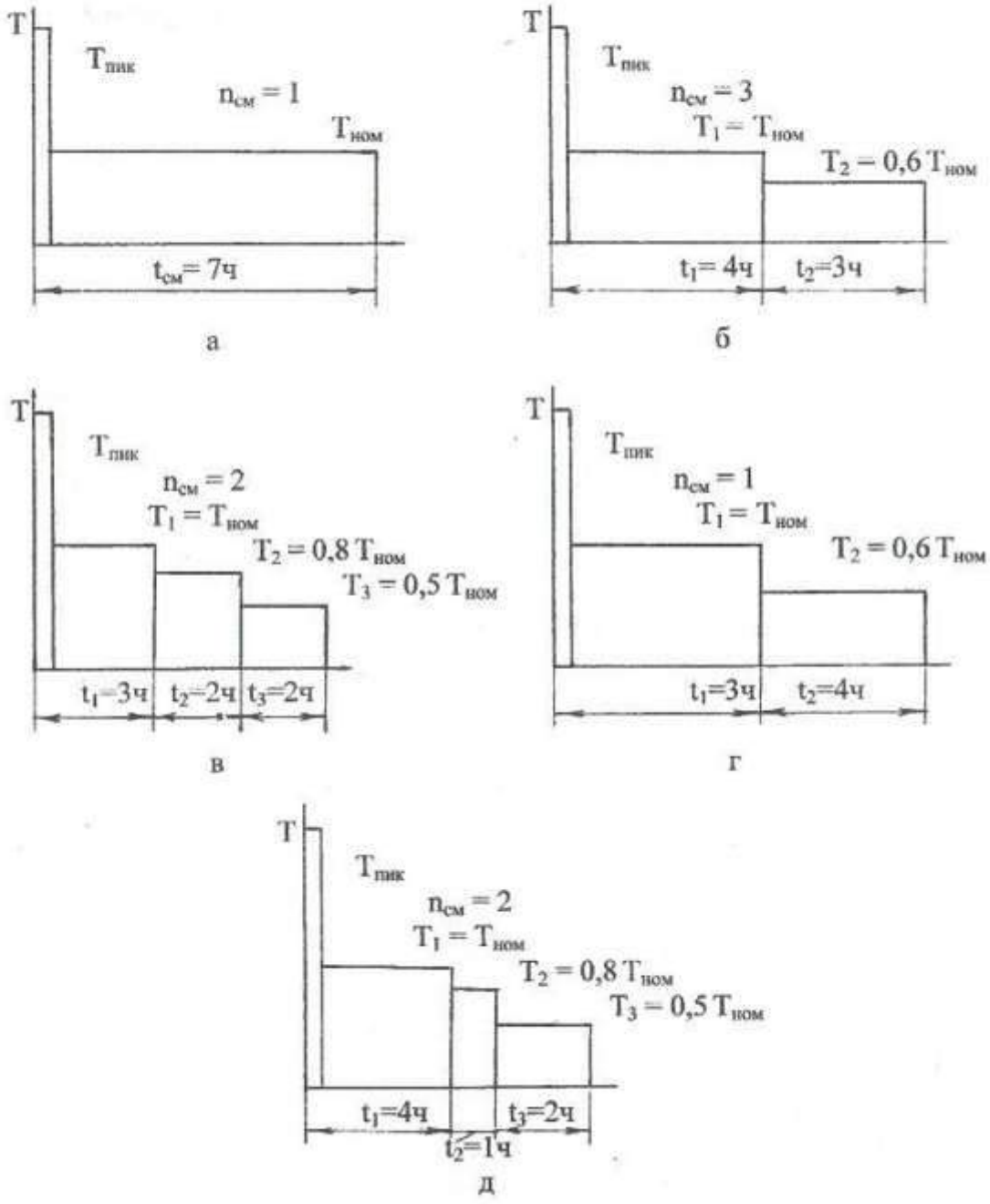


Рис. 2.7

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 2.106-96. ЕСКД. Текстовые документы. – М.: Изд-во стандартов, 1997.

2. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. – М.: Высш. шк., 1998.

3. Таугер В.М., Ахлюстина Н.В. Расчет и курсовое проектирование деталей машин. Ч. 2 – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2005.

4. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин. – М.: Высш. шк., 1991.

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

В. М. Таугер

ДЕТАЛИ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Учебное пособие

Екатеринбург
2022

УДК 681.323-181.4(075)

Таугер В. М.
Детали мехатронных модулей: учебное пособие. – Екатеринбург: УГГУ, 2022. – 141 с.: ил.

Изложены методы расчета деталей преобразователей движения, необходимые для конструирования мехатронных модулей; рассмотрены конструктивные отличия основных деталей преобразователей движения мехатронных модулей от деталей передач общего назначения.

Учебное пособие предназначено для студентов направления «Мехатроника и робототехника промышленных производств».

Рецензент:

Рекомендовано редакционно-издательским советом университета.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение……6
1. Соединения……7
1.1. Основные понятия……7
1.2. Шпоночные соединения……7
1.3. Зубчатые (шлицевые) соединения……10
1.4. Резьбовые соединения……13
1.4.1. Классификация резьбы……13
1.4.2. Геометрические параметры треугольной резьбы……13
1.4.3. Предотвращение саморазвинчивания в резьбовых соединениях……15
1.4.4. Расчет резьбовых соединений на прочность……15
1.4.5. Материалы и допускаемые напряжения……23
1.5. Заклепочные соединения……24
1.5.1. Разновидности заклепочных соединений……24
1.5.2. Расчет заклепочного соединения на прочность……26
1.6. Сварные соединения……28
1.6.1. Виды сварки……28
1.6.2. Соединения ручной электродуговой сваркой……30
1.6.3. Расчет сварных соединений на прочность……32
1.7. Соединения с натягом……36
Контрольные вопросы……36
2. Передачи……38
2.1. Общие сведения……38
2.2. Ременные передачи……40
2.3. Цилиндрические зубчатые передачи……43
2.3.1. Геометрические параметры цилиндрических зубчатых передач……43
2.3.2. Силы, действующие в зубчатом зацеплении……49
2.3.3. Виды разрушения зубьев……51
2.3.4. Материалы зубчатых передач……52

2.3.5. Методика расчета закрытой зубчатой передачи……53
2.4. Конические зубчатые передачи……..73
2.4.1. Геометрические параметры конических зубчатых передач……73
2.4.2. Силы в конической зубчатой передаче……...77
2.4.3. Методика расчета конической зубчатой передачи……77
2.5. Червячные передачи……85
2.5.1. Геометрические параметры червячных передач……...85
2.5.2. Силы в червячной передаче……88
2.5.3. Материалы червячных передач……...89
2.5.4. Методика расчета червячной передачи……..90
2.6. Планетарные зубчатые передачи…….....96
2.6.1. Общие сведения о планетарных передачах……96
2.6.2. Передаточное число и условия существования планетарного механизма……99
2.6.3. Материалы планетарных передач……101
2.6.4. Методика расчета планетарной передачи……101
2.7. Волновые зубчатые передачи……...105
2.7.1. Общие сведения……..105
2.7.2. Передаточное число волновой передачи……..107
2.7.3. Геометрические параметры волновой передачи……..108
2.7.4. Материалы волновых передач……...110
2.7.5. Методика расчета волновой передачи……..110
Контрольные вопросы……..119
3. Подшипники……..121
3.1. Классификация подшипников по виду трения……...121
3.2. Конструкции и классификация подшипников качения……122
3.3. Методика расчета подшипников качения……...124
3.3.1. Исходные данные для расчета……...124
3.3.2. Предварительный выбор подшипников……...124
3.3.3. Проверочный расчет подшипников по динамической

грузоподъемности……...125
Контрольные вопросы……..134
4. Валы и оси……136
4.1. Общие сведения……136
4.2. Методика расчета валов……136
4.2.1. Исходные данные……...136
4.2.2. Проектировочный расчет……...137
4.2.3. Разработка расчетной схемы……137
4.2.4. Построение эпюр изгибающих и крутящих моментов в сечениях вала……...138
4.2.5. Проверка вала на усталостную прочность……...138
Контрольные вопросы……..139
Заключение……140
Библиографический список……141

ВВЕДЕНИЕ

Мехатронные модули представляют собой компактные устройства, всё более широко применяющиеся не только в различных отраслях промышленности, но и на транспорте, в медицине, в быту. Весьма перспективным представляется оснащение шахт, рудников и карьеров технологическими мехатронными модулями и системами, которые позволят не только повысить производительность предприятия, но и обеспечить безопасность труда и снизить вероятность возникновения аварийной ситуации.

Конструирование мехатронных модулей невозможно без знания методов расчета и конструирования их основных деталей и передач, называемых также преобразователями движения. В данном учебном пособии рассматриваются механические преобразователи движения, в качестве которых используют зубчатые (в том числе планетарные), червячные, волновые передачи.

В процессе разработки передачи конструктор должен учитывать ряд особых требований, предъявляемых к мехатронным модулям и решающим образом влияющих на выбор типа, расчет и конструкцию передачи.

Для надежного усвоения студентом материала пособия необходимы достаточно твердые и обширные знания дисциплин «Теоретическая механика» и «Сопротивление материалов».

1. СОЕДИНЕНИЯ

1.1. Основные понятия

Соединением называется неподвижное сопряжение деталей между собой.

По принципу *неразрушаемости при разборке* различают соединения разъемные и неразъемные. К *разъемным* относят соединения, допускающие разборку без разрушения или повреждения элементов, а к *неразъемным* – соединения, разборка которых невозможна без разрушения или повреждения элементов. В число элементов соединения включают как сами соединяемые детали, так и изделия или материалы, которыми данное соединение обеспечивается.

Из разъемных соединений наибольшее распространение получили следующие:

- шпоночные;
- зубчатые (шлицевые);
- резьбовые;
- соединения с некруглым валом.

Из неразъемных соединений наиболее часто используются:

- заклепочные;
- сварные;
- соединения с натягом (фрикционные);
- клеевые.

Соединения с некруглым валом и клеевые в настоящем учебном пособии рассматриваться не будут. Для их расчета следует обратиться к учебно-методической и технической литературе.

1.2. Шпоночные соединения

Шпоночные соединения образуются с помощью специальной крепежной детали, которая называется *шпонкой*. Шпонка располагается между соединяе-

мыми деталями и передает нагрузку (усилие или крутящий момент) с одной детали на другую.

Различают *напряженные* и *ненапряженные* шпоночные соединения. В первых напряжения в шпонке и соединяемых деталях возникают уже в процессе сборки, во-вторых же в отсутствие полезной нагрузки на соединение напряжения в шпонке и деталях практически равны нулю. В мехатронных модулях (ММ), как правило, применяются ненапряженные соединения.

Известны ненапряженные соединения круглой шпонкой, сегментной шпонкой и призматической шпонкой.

Круглая шпонка представляет собой цилиндрическую деталь (штифт), входящую по переходной посадке в отверстия соединяемых деталей. В большинстве случаев соединение служит для обеспечения точности сборки и не предназначено для передачи рабочей нагрузки.

Боковая поверхность *сегментной шпонки*, как показывает само название, представляет собой сегмент окружности. Соединение технологично в изготовлении и способно передавать небольшие нагрузки. Его расчет приведен в [1].

Наибольшие нагрузки могут быть реализованы в соединении *призматической шпонкой*. Используются шпонки со скругленными торцами, с одним скругленным торцом и с плоскими торцами (рис. 1.1, *а*). Размеры *b*, *h* и *l* оговорены ГОСТ 23360.

На валу 1 и во втулке 2 выполняются пазы, в которые при сборке устанавливается шпонка 3 (рис. 1.1, *б*), и крутящий момент *T* передается с вала к втулке ее боковыми гранями.

Боковые грани шпонки испытывают нормальные напряжения смятия, а в ее продольном сечении действуют касательные напряжения среза, но соотношение размеров стандартной низкой шпонки таково, что проверку на прочность по касательным напряжениям можно не выполнять.

Таким образом, расчет соединения на прочность производится по напряжению смятия, которое определяется по следующей формуле:

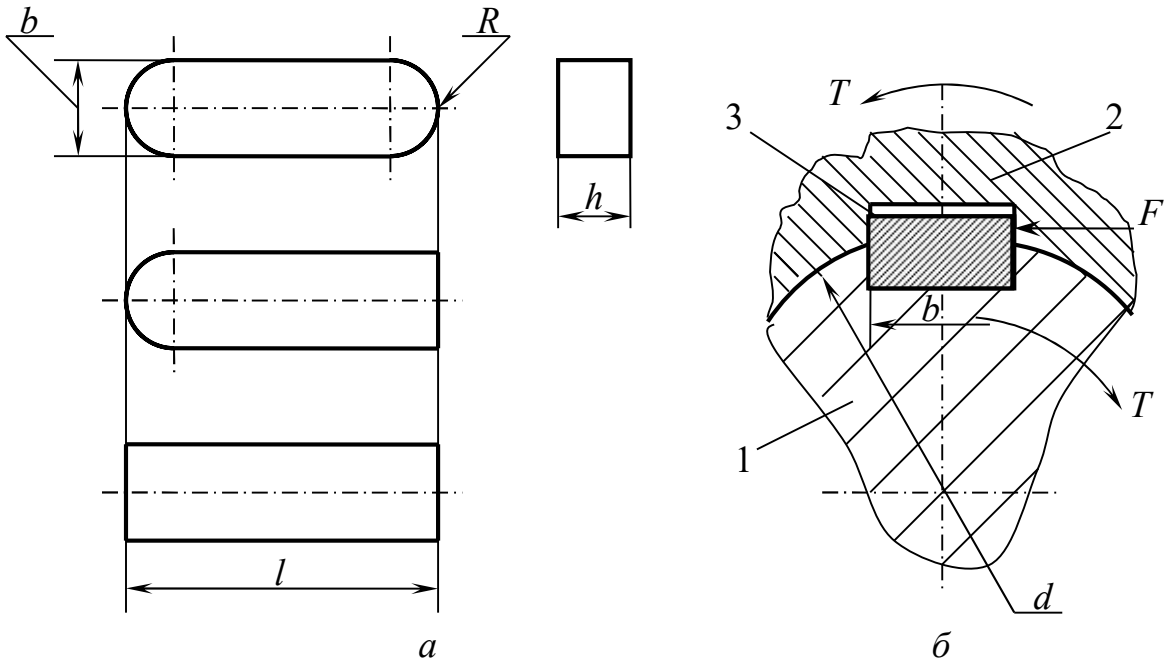


Рис. 1.1. Соединение призматической шпонкой

$$\sigma_{см} = \frac{F}{A} = \frac{4T}{dhl_р} \le [\sigma_{см}], \qquad (1.1)$$

где F – сила, действующая на боковую грань; A – рабочий участок боковой грани, по которому распределяется сила F; $l_р$ – рабочая длина шпонки; $[\sigma_{см}]$ – допускаемое напряжение смятия.

Формула (1.1) получена с учетом следующих допущений:

- плечо силы F относительно центра сечения вала равно $d/2$;

- ширина участка боковой грани, на котором распределяется сила F, равна $h/2$.

Рабочая длина шпонки со скругленными торцами равна

$$l_р = l - b; \qquad (1.2)$$

с одним скругленным торцом

$$l_{\text{р}} = l - \frac{b}{2}; \qquad (1.3)$$

с плоскими торцами $l_{\text{р}} = l$.

Допускаемые напряжения $[\sigma_{\text{см}}]$ = 80…120 МПа для соединений с переходными посадками втулки на вал, а для соединений с посадкой с натягом $[\sigma_{\text{см}}]$ = 110…200 МПа. Меньшие напряжения принимают при чугунной втулке или при резких изменениях нагрузки, бóльшие – при стальной втулке и спокойной нагрузке.

1.3. Зубчатые (шлицевые) соединения

Соединения образуются сопряжением наружных зубьев на валу с внутренними зубьями в отверстии втулки.

По форме профиля зубьев различают соединения *прямобочные* (рис. 1.2, *а*), *эвольвентные* (рис. 1.2, *б*) и *треугольные* (рис. 1.2, *в*).

Соединения прямобочные выполняют с *центрированием* или по боковым сторонам зубьев, или по наружному диаметру, или по внутреннему диаметру вала. Центрирование по диаметрам обеспечивает более точную соосность соединяемых деталей, а центрирование по боковым сторонам – более точное распределение нагрузки между зубьями, т.е. передачу бóльших крутящих моментов. На рис. 1.2, *а* показано центрирование по наружному диаметру.

Эвольвентные соединения выполняют с центрированием или по боковым сторонам зубьев, или по наружному диаметру. На рис. 1.2, *б* показано центрирование по наружному диаметру. Эвольвентные шлицы можно получать на зуборезном оборудовании и достигать при этом высокой точности.

Размеры прямобочных соединений даны в ГОСТ 1139, эвольвентных – в ГОСТ 6033.

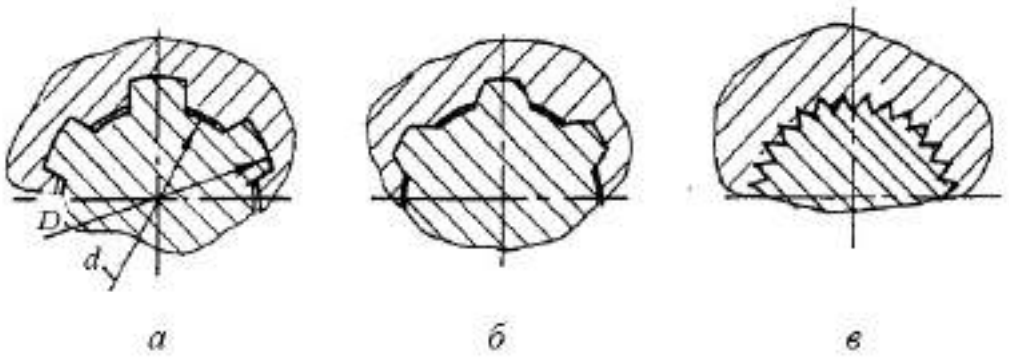


Рис. 1.2. Разновидности шлицевых соединений
по форме профиля зуба

Треугольные шлицы не стандартизованы. Они применяются при тонкостенных втулках, а также для соединения пластмассовых деталей с металлическими валами.

С точки зрения применения в ММ шлицевые соединения обладают такими преимуществами перед шпоночными, как повышенные нагрузочная способность и точность центрирования деталей. К недостаткам можно отнести сложность изготовления.

Основными критериями работоспособности шлицевых соединений являются прочность на смятие и сопротивление коррозионно-механическому износу. Причина такого изнашивания в неподвижных соединениях заключается в микро-перемещениях сопряженных поверхностей при вращении вала.

При допущении равномерного распределения нагрузки между зубьями условие прочности по напряжениям смятия выглядит следующим образом:

$$\sigma_{см} = \frac{2T}{zhd_m l} \le [\sigma_{см}], \qquad (1.4)$$

где z – число зубьев; h – высота зуба; d_m – средний диаметр соединения; l – длина поверхности контакта.

Высота зуба и средний диаметр определяют по формулам

$$h = \frac{D - d}{2} - f'; \tag{1.5}$$

$$d_m = \frac{D + d}{2}, \tag{1.6}$$

где D, d – диаметры вершин и впадин зубьев соответственно; f' – расчетный зазор в соединении.

Допускаемое напряжение смятия определяют с учетом условий эксплуатации и твердости зубьев по табл. 1.1.

В случае постоянной нагрузки с числом циклов нагружения за полный срок службы порядка 10^8 условие удовлетворительного сопротивления соединения изнашиванию выражается неравенством

$$\sigma_{см} \le [\sigma_{изн}]. \tag{1.7}$$

Таблица 1.1

Значения $[\sigma_{см}]$ шлицевых соединений

Условия эксплуатации	$[\sigma_{см}]$, МПа	
	Твердость зубьев *HB*350	Твердость зубьев *HRC*40
Тяжелые (с ударом)	26…38	30…52
Средние	45…75	75…105
Легкие	60…90	90…150

Условное допускаемое напряжение $[\sigma_{изн}]$ изменяется в широких пределах в зависимости от твердости поверхностей контакта и условий приложения нагрузки. Для улучшенных зубьев $[\sigma_{изн}]$ = 26…85 МПа; для закаленных: до *HRC*40 $[\sigma_{изн}]$ = 34…105 МПа; до *HRC*45 $[\sigma_{изн}]$ = 42…130 МПа. При необходимости точного определения значений $[\sigma_{см}]$, $[\sigma_{изн}]$ следует обратиться к учебной и технической литературе.

1.4. Резьбовые соединения

1.4.1. Классификация резьбы

По форме основной поверхности различают *цилиндрическую* и *коническую* резьбу. Наиболее распространена цилиндрическая резьба. Коническую применяют для плотных соединений труб, масленок, пробок и т. п.

По форме профиля резьбового выступа различают треугольную, круглую, прямоугольную, трапецеидальную и упорную резьбу. Форма профиля тесно связана с назначением резьбы: для образования соединений используются треугольную и круглую (*крепежную*) резьбу, а в винтовых механизмах – прямоугольную, трапецеидальную и упорную (*ходовую*) резьбу. Такое распределение объясняется более высокой относительной прочностью крепежной резьбы и бóльшими силами трения в соединении крепежной резьбой.

По направлению винтовой линии различают *правую* и *левую* резьбу. У правой резьбы винтовая линия идет слева направо и вверх, у левой – справа налево и вверх. Обычно применяют правую резьбу, левую – только в некоторых специальных случаях.

Различают *метрическую* и *дюймовую* треугольную резьбу. Геометрические параметры метрической резьбы выражены в миллиметрах, дюймовой – в долях дюйма.

Разновидность дюймовой резьбы – *трубная* резьба, резьбовые выступы и впадины которой скруглены. Соединения трубной резьбой имеют меньшие зазоры, чем соединения метрической резьбой, поэтому применяются в трубопроводной арматуре.

В ММ преимущественно применяется соединения треугольной резьбой, они и будут рассмотрены в дальнейшем.

1.4.2. Геометрические параметры треугольной резьбы

Основные геометрические параметры (рис. 1.3): α – угол профиля, для метрической резьбы $\alpha = 60°$, для дюймовой резьбы $\alpha = 55°$; d – наружный диаметр; d_1 – внутренний диаметр; d_2 – средний диаметр; p – шаг резьбы.

Шаг резьбы – расстояние между одноименными сторонами соседних профилей, измеренное в направлении оси резьбы. По величине шага различают резьбы с крупным шагом и с мелкими шагами. Крупный шаг для определенного d один, а мелких шагов несколько. С уменьшением шага соответственно уменьшаются размеры резьбового выступа и угол подъема витка (см. ниже).

По образующей воображаемого цилиндра, диаметр которого равен среднему диаметру резьбы, ширина резьбового выступа равна ширине впадины (и равна $b/2$).

Кроме того, выделяют такие параметры, как n – число заходов; $p_1 = np$ – ход резьбы, т.е. перемещение гайки по винту за один оборот; ψ – угол подъема витка.

Под углом ψ подразумевается угол подъема развертки винтовой линии по среднему диаметру:

$$\psi = \operatorname{arctg}\frac{p_1}{\pi d_2} = \operatorname{arctg}\frac{np}{\pi d_2}. \qquad (1.8)$$

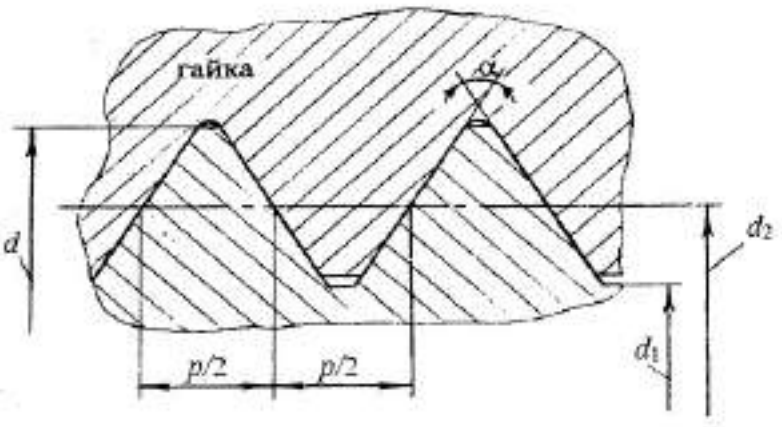


Рис. 1.3. Основные геометрические параметры треугольной резьбы

От величины ψ зависит, будет ли резьба *самотормозящейся*. Самоторможение – непременное условие для крепежной резьбы, поскольку без его соблюдения соединение не в состоянии выдерживать осевую нагрузку. В однозаход-

ной треугольной резьбе $\psi = 2° 30'…3° 30'$, что дает гарантированное самоторможение.

1.4.3. Предотвращение саморазвинчивания в резьбовых соединениях

Весьма часто резьбовые соединения эксплуатируются в условиях вибрации, переменных и ударных нагрузок. При этом обеспечения условия самоторможения недостаточно для предотвращения саморазвинчивания, т.к. вследствие переменного характера нагрузки силы трения в резьбе понижаются.

Существует много способов дополнительного *стопорения* резьбы. Способы первой группы направлены на повышение и стабилизацию сил трения в резьбе. Основные и наиболее часто применяемые из них – постановка *контргайки* и использование *пружинной шайбы*. Контргайка создает дополнительное натяжение, а, следовательно, и трение в резьбе, не зависящее от внешней нагрузки. Пружинная шайба представляет собой, по сути дела, виток пружины и поддерживает натяг и трение в резьбе на участке самоотвинчивания в один – два оборота гайки.

Способы второй группы сводятся к жесткому креплению элементов (гайки с болтом, гайки или винта с деталью). Одним из таких способов является применение в соединении специальной *корончатой гайки* со *шплинтом*. Корончатая гайка имеет кольцевой выступ с прорезями (коронку). Шплинтом называется деталь, изготовленная из проволоки полукруглого сечения. После навинчивания гайки на резьбовый стержень шплинт вставляется в прорезь коронки так, что проходит через коронку и резьбовый стержень насквозь (в стержне заранее сделано отверстие под шплинт). Затем концы шплинта отгибают, после чего шплинт надежно фиксирует гайку относительно резьбового стержня.

Указанными способами можно предотвратить саморазвинчивание в большинстве резьбовых соединений. В противном случае следует обратиться к литературе и подобрать приемлемый способ.

1.4.4. Расчет резьбовых соединений на прочность

Основные виды разрушения резьбовых соединений – срез витков и разрыв резьбового стержня. Касательные напряжения среза зависят, при равных диа-

метре и шаге резьбы, от количества витков резьбы, по которым распределяется нагрузка, т.е. от высоты гайки. Поэтому добиться равнопрочности резьбы и стержня винта можно подбором высоты гайки. Стандартная высота нормальной гайки $H \approx 0{,}8d$, и именно такая высота дает выполнение условия равнопрочности. Следовательно, при использовании в болтовом соединении гайки нормальной высоты исключается необходимость рассмотрения прочности витков, и расчет соединения сводится к *расчету стержня болта* (*винта*).

Ниже рассмотрены распространенные в конструкциях ММ случаи нагружения резьбового стержня.

Случай 1. Стержень винта нагружен только внешней растягивающей силой F, затяжка соединения отсутствует.

Опасное сечение – по внутреннему диаметру резьбы. Условие прочности по напряжениям растяжения в стержне

$$\sigma = \frac{F}{\frac{\pi d_1^{\,2}}{4}} = \frac{4F}{\pi d_1^{\,2}} \le [\sigma]. \qquad (1.9)$$

Допускаемые напряжения [σ] здесь и далее см. в табл. 1.2.

Случай 2. Внешняя нагрузка отсутствует, соединение затянуто.

Случай характерен для крепления ненагруженных герметичных крышек, люков и т.п.

Стержень болта растягивается осевой *силой затяжки* $F_{зат}$ и закручивается *моментом сил* T, необходимым для обеспечения затяжки. Величина $F_{зат}$ определяется из условия герметичности по рекомендациям, учитывающим опыт эксплуатации аналогичных соединений. Расчет стержня производится по *эквивалентному напряжению*, учитывающему наличие как нормальных напряжений растяжения, так и касательных напряжений кручения. Для стандартной метрической резьбы соотношение эквивалентного и нормального напряжений

выражается зависимостью $\sigma_э \approx 1{,}3\sigma$, что позволяет рассчитывать стержень болта по формуле

$$\sigma_э = \frac{1{,}3F_{зат}}{\frac{\pi d_1^{\,2}}{4}} = \frac{5{,}2F_{зат}}{\pi d_1^{\,2}} \le [\sigma]. \qquad (1.10)$$

Случай 3. Соединение нагружено силами, сдвигающими детали в стыке, болт поставлен в отверстии с зазором. Пример – соединение, показанное на рис. 1.4.

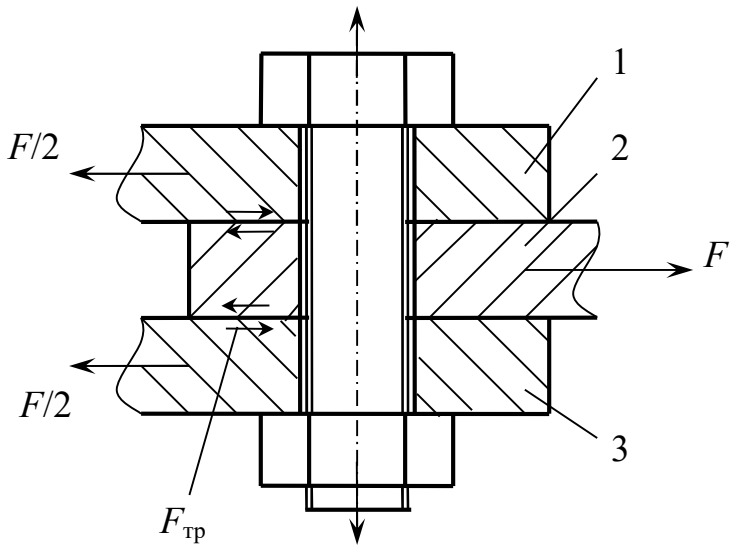


Рис. 1.4. Соединение, нагруженное поперечными силами (болт в отверстии с зазором)

Для упрощения расчета принято следующее допущение: болт не касается своей боковой поверхностью стенок отверстий в деталях. Следовательно, сдвигу деталей препятствуют только силы трения в стыке. Условие отсутствия сдвига может быть получено из рассмотрения равновесия детали 2:

$$F = iF_{тр} = iF_{зат}f, \qquad (1.11)$$

где i – число плоскостей стыка деталей; f – коэффициент трения скольжения в стыке (для стальных деталей f = 0,15…0,2).

Требованиям практики равенство (1.11) не удовлетворяет, т.к. малейшее увеличение силы F или уменьшение коэффициента трения (например, в результате попадания смазки в соединение) приведет к сдвигу деталей. Поэтому вместо (1.11) используется выражение

$$KF = iF_{\text{зат}}f, \tag{1.12}$$

откуда

$$F_{\text{зат}} = \frac{KF}{if}, \tag{1.13}$$

в (1.13) K – коэффициент запаса. При статической нагрузке K = 1,3…1,5, при переменной нагрузке K = 1,8…2.

После определения $F_{\text{зат}}$ прочность болта оценивают по (1.10).

Случай 4. Соединение нагружено силами, сдвигающими детали в стыке, болт поставлен без зазора. Такие соединения (см. рис. 1.5) образуются с помощью болтов по ГОСТ 7817, имеющих гладкую рабочую часть, диаметр которой d_3 больше диаметра резьбы d. Отверстия под болты обрабатывают разверткой, в результате посадки болтов в отверстиях получаются переходные или с натягом.

Сдвигающие силы вызывают в стержне болта напряжения среза и смятия. Резьба в соединении играет вспомогательную роль, фиксируя соединяемые детали одну относительно другой.

Напряжение среза в стержне болта в соединении по рис. 1.5

$$\tau = \frac{4F}{\pi d_3{}^2 i} \le [\tau], \tag{1.14}$$

где i – число плоскостей среза (на рис. 1.5 i = 2).

Напряжение смятия для крайней детали

$$\sigma_{см1} = \frac{F}{2d_3\delta_1} \le [\sigma_{см}]; \qquad (1.15)$$

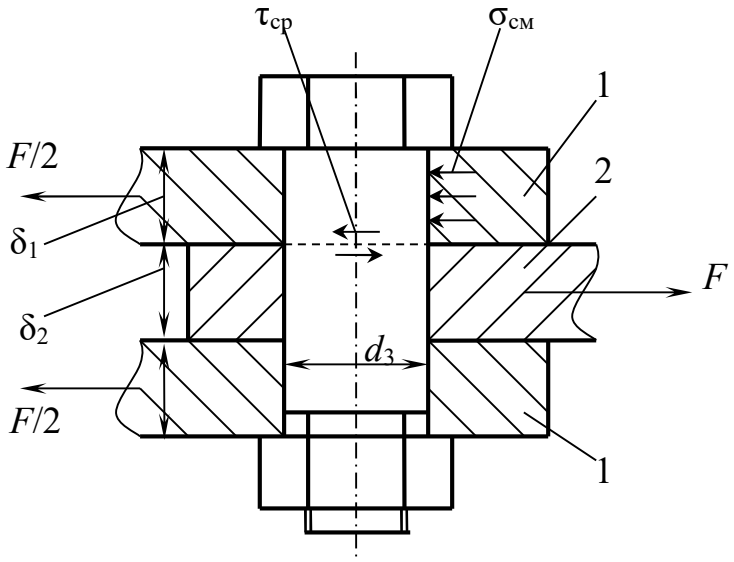


Рис. 1.5. Соединение, нагруженное поперечными силами (болт в отверстии без зазора)

для средней детали

$$\sigma_{см2} = \frac{F}{d_3\delta_2} \le [\sigma_{см}]. \qquad (1.16)$$

Формулы (1.15), (1.16) справедливы как для болта, так и для деталей. Из двух значений $\sigma_{см}$ расчет прочности выполняют по наибольшему, а допускаемое напряжение определяют по более слабому материалу болта или детали. Обычно диаметр болта находят из условия прочности на срез, а затем производят проверку по напряжениям смятия.

Случай 5. Болт затянут, внешняя нагрузка раскрывает стык деталей. В качестве примера могут быть рассмотрены болты крепления крышки резервуара к корпусу (рис. 1.6).

Внутри резервуара находится газ под избыточным давлением p. Очевидно, что затяжка болтов должна обеспечивать герметичность соединения, для чего болты предварительно (до того, как в резервуар подается газ) затягивают. При этом болты и стык деформируются: болты растягиваются, стык сжимается. Сжатие стыка происходит в основном за счет прокладки, если предусмотрена мягкая прокладка. Если же прокладка металлическая, то главную роль играет податливость фланцев крышки и корпуса. После того, как в резервуаре установилось давление p, приходящаяся на болт внешняя нагрузка становится равной

$$F = \frac{p\pi D^2}{4z}, \tag{1.17}$$

где z – число болтов.

Под действием внешней нагрузки дополнительно растягиваются. Но при этом крышка приподнимается болты, и сжатие стыка уменьшается на величину дополнительной деформации болтов. Таким образом, с одной стороны, имеет место приращение нагрузки на болт за счет силы давления газа на крышку, а с другой стороны, уменьшается нагрузка на болт со стороны стыка, возникшая в результате предварительной затяжки. В итоге суммарное увеличение нагрузки на болт оказывается значительно меньше, чем F по (1.17).

Расчетная суммарная нагрузка на болт

$$F_{\text{р}} = F_{\text{зат}} + \chi F, \tag{1.18}$$

где χ – коэффициент внешней нагрузки, обычно принимается равным 0,2…0,3.

Силу затяжки рекомендуется принимать

$$F_{\text{зат}} = k_{\text{зат}} F, \tag{1.19}$$

где $k_{\text{зат}}$ – коэффициент затяжки.

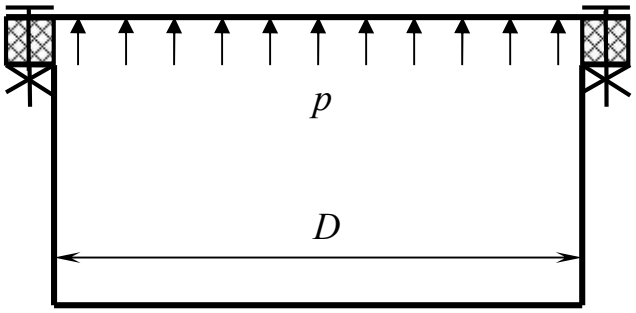


Рис. 1.6. Схема случая 5 резьбового соединения

По условию герметичности: при мягкой прокладке $k_{зат}$ = 1,3…2,5; при металлической фасонной прокладке $k_{зат}$ = 2…3,5; при металлической плоской прокладке $k_{зат}$ = 3…5.

После того, как найдена $F_р$, проверяют болт на прочность по формуле

$$\sigma_э = \frac{5{,}2F_р}{\pi d_1^{\,2}} \le [\sigma]. \qquad (1.20)$$

Случай 6. Эксцентрично нагруженный болт. Пример – нагружение болта с молотовидной головкой (рис. 1.7). Такие болты используют, когда невозможно расположить в отверстии обычный болт (отверстие слишком близко к стенке), а также в некоторых других случаях.

Затяжка соединения вызывает возникновение в стержне болта напряжений растяжения

$$\sigma_р = \frac{4F_{зат}}{\pi d_1^{\,2}} \qquad (1.21)$$

и напряжений изгиба

$$\sigma_{и} = \frac{32F_{зат}e}{\pi d_1^{\,3}}, \qquad (1.22)$$

где e – эксцентриситет силы затяжки.

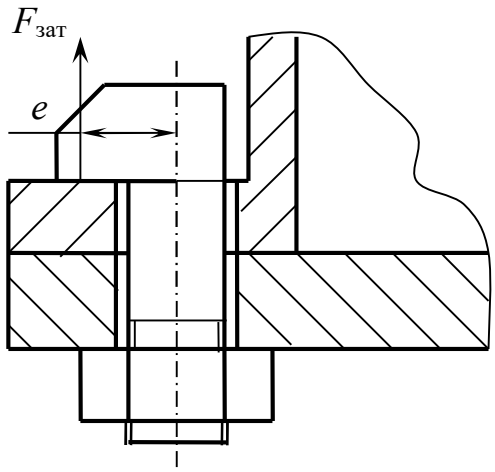


Рис. 1.7. Соединение болтом с молотовидной головкой

Для сопоставления величин составляющих напряжений предположим, что $e = d_1$. Тогда

$$\sigma_{и} = \frac{32F_{зат}}{\pi d_1^{\,2}}; \qquad (1.23)$$

$$\frac{\sigma_{и}}{\sigma_{р}} = 8. \qquad (1.24)$$

Из (1.24) видно, что из двух составляющих гораздо более опасно напряжение изгиба. Следовательно, эксцентричного нагружения болтов нужно всемерно избегать, а в тех случаях, когда использование эксцентрично нагруженного болта является технической необходимостью, обязательно учитывать его в расчетах.

Суммарное напряжение в стержне болта с учетом напряжения кручения

$$\sigma_{\text{р}} = \frac{5{,}2F_{\text{зат}}}{\pi d_1^{\,2}} + \frac{32F_{\text{зат}}e}{\pi d_1^{\,3}} \le [\sigma]. \qquad (1.25)$$

1.4.5. Материалы и допускаемые напряжения

Стандартные крепежные изделия изготовляют обычно из сталей марок Сталь 10…Сталь 35, так как эти дешевые стали позволяют выпускать большие количества изделий наиболее производительными методами. Стали с более высокими прочностными характеристиками применяют для изготовления высоконагруженных деталей в ответственных соединениях. В этих случаях может предусматриваться также термическая обработка.

Особое внимание следует уделять защите соединений от коррозии. С этой целью стандарты предусматривают больше десятка различных видов покрытий болтов, шпилек и гаек применительно к различным агрессивным средам – от цинкового с хромированием до серебряного. В тех случаях, когда вид среды неизвестен, можно рекомендовать достаточно простые и дешевые покрытия, такие, как кадмиевое с хромированием (группа 02).

В технически обоснованных случаях крепежные детали выполняют из цветных металлов и сплавов.

Допускаемые напряжения при расчете резьбовых соединений на прочность сведены в табл. 1.2.

Различают затяжку *контролируемую* и *неконтролируемую*. Контролируемая затяжка осуществляется с помощью специальных динамометрических ключей и ключей предельного момента, дающих возможность затянуть соединение заданной силой (и не большей). Существуют также и другие средства и методы контроля затяжки, к которым следует прибегать там, где это оговорено техническими требованиями. Судя по величинам запасов прочности (табл. 1.3), контролируемая затяжка позволяет существенно повысить надежность соединений.

Таблица 1.2

Допускаемые напряжения

Случай соединения	Номер формулы	Значение допускаемого напряжения
1	(1.9)	$[\sigma] = 0{,}6\sigma_т$
2,3,5	(1.10), (1.20)	$[\sigma] = \sigma_т/[s]$; $[s]$ – по табл. 1.3 для неконтролируе-мой затяжки; $[s] = 1{,}5…2{,}5$ – для контролируемой затяжки
4	(1.14), (1.15), (1.16)	$[\tau] = 0{,}4\sigma_т$ – для статической нагрузки; $[\tau] = (0{,}2…0{,}3)\sigma_т$ – для переменной нагрузки; $[\sigma_{см}] = 0{,}8\sigma_т$ – сталь; $[\sigma_{см}] = (0{,}4…0{,}5)\sigma_т$ – чугун
6	(1.25)	$[\sigma] = 0{,}6\sigma_т$

Таблица 1.3

Запасы прочности при неконтролируемой затяжке

Материал болта	Запас прочности $[s]$ для резьбы		
	М6…М16	М16…М30	М30…М60
Углеродистая сталь	5…4	4…2,5	2,5…1,5
Легированная сталь	6,5…5	5…3,3	3,3

1.5. Заклепочные соединения

1.5.1. Разновидности заклепочных соединений

Заклепочное соединение образуется расклепыванием стержня заклепки, вставленной в отверстия деталей (рис. 1.8). Обжимка 1 формирует замыкающую головку 2 заклепки 3, причем вследствие пластических деформаций стержень заклепки заполняет зазор в отверстиях. Поддержка 4 фиксирует закладную головку 5 заклепки.

Силы, вызванные упругими деформациями деталей и стержня заклепки, стягивают детали. Сдвигу деталей препятствует сопротивление стержня заклепки и частично силы трения между деталями.

Отверстия в деталях сверлят или продавливают. Сверление менее производительно, но придает соединению повышенную прочность. В ответственных соединениях предусматривается обязательное совместное сверление отверстий в деталях, что дополнительно повышает надежность соединения.

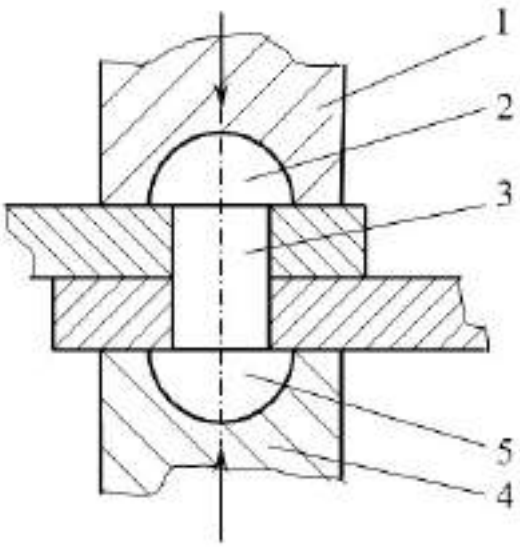


Рис. 1.8. Заклепочное соединение

Клепку можно производить вручную и машинным способом (пневматическими молотками, прессами и т. п.).

Стальные заклепки диаметром до 10 мм и заклепки из цветных металлов ставят без нагрева, поэтому процесс расклепывания называют холодной клепкой. Стальные заклепки большого диаметра ставят с нагревом. Нагрев повышает пластичность заклепки, облегчает расклепывание, улучшает заполнение отверстия и повышает натяг в соединении, связанный с температурными деформациями при остывании. В этом случае образование соединения называют горячей клепкой.

Применяются заклепки с полукруглой головкой (такая заклепка показана на рис. 1.8), с потайной и полупотайной головками. Кроме того, существуют различные типы специальных заклепок: пустотелые и полупустотелые, заклепки для односторонней клепки и т.д. Геометрическая форма и размеры заклепок нормальной точности оговариваются ГОСТ 10299, ГОСТ 10300, заклепок повышенной точности – ГОСТ 14787, ГОСТ 14798, ГОСТ 14801.

Листовые детали соединяются заклепочными швами. В зависимости от назначения различают швы *прочные*, *плотные* и *прочноплотные*. Прочные швы применяют в металлоконструкциях, плотные – в резервуарах для хранения

жидкостей и газов с невысоким давлением, прочноплотные – в резервуарах для хранения жидкостей и газов с высоким давлением. Плотность шва достигается постановкой заклепок с шагом, не большим некоторого строго определенного значения.

По конструктивному признаку различают швы *однорядные* и *многорядные*, соединения *внахлестку* и *встык*, *односрезные* и *многосрезные*. На рис. 1.9 приведен пример двухсрезного соединения внахлестку.

Применение заклепочного соединения целесообразно в тех случаях, когда материалы деталей плохо соединяются сваркой, а также в тех конструкциях, где важно растянуть во времени процесс разрушения.

К недостаткам соединения относятся трудоемкость выполнения длинных заклепочных швов, вредность работы клепальщика, существенное ослабление соединяемых деталей отверстиями под заклепки.

1.5.2. Расчет заклепочного соединения на прочность

На основные размеры заклепочных соединений выработаны нормы, по которым выбирают диаметры отверстия и заклепки, шаг шва и расстояние от шва до края деталей, а также толщину деталей. Расчет заклепки обычно носит проверочный характер.

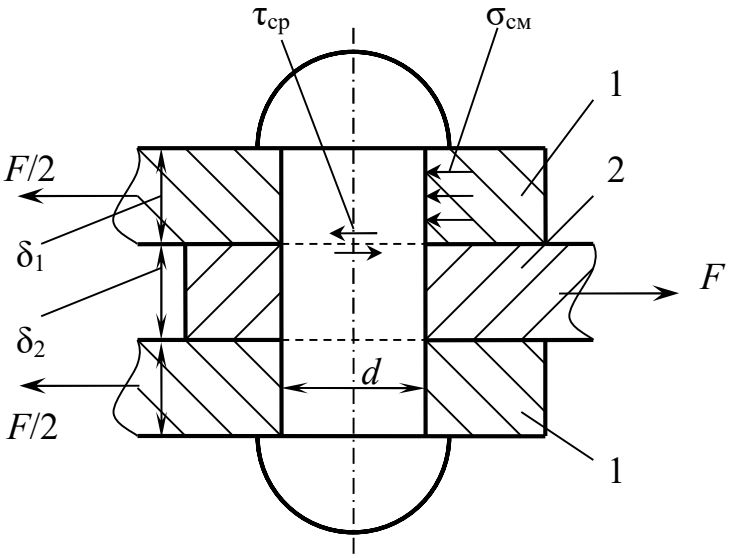


Рис. 1.9. Двухсрезное заклепочное соединение внахлестку

Рассмотрим соединение, нагруженное силами, сдвигающими детали в стыке (рис. 1.9). Его расчет аналогичен приведенному выше расчету резьбового соединения болтом, поставленным в отверстия без зазора, поэтому дополнительных пояснений не требует.

Условие прочности заклепки по напряжениям среза выражается формулой

$$\tau = \frac{4F}{\pi d^2 i} \le [\tau_{ср}], \tag{1.26}$$

условия прочности по напряжениям смятия:

$$\sigma_{см1} = \frac{F}{2d\ \delta_1} \le [\sigma_{см}], \tag{1.27}$$

$$\sigma_{см2} = \frac{F}{d\ \delta_2} \le [\sigma_{см}]. \tag{1.28}$$

Допускаемые напряжения для заклепки из стали Ст3 принимают такими: $[\tau_{ср}]$ = 140 (100) МПа; $[\sigma_{см}]$ = 320 (280) МПа. Первые числа – для отверстий, полученных сверлением, значения в скобках – для отверстий, полученных продавливанием.

Материал заклепки должен отвечать следующим требованиям:

- обладать пластичностью;
- не принимать закалки при горячей клепке;
- не образовывать с материалом деталей гальванической пары.

1.6. Сварные соединения

1.6.1. Виды сварки

Из всего многообразия применяемых в настоящее время в производстве видов сварки при изготовлении ММ преимущественно используются *электродуговая* и *контактная*.

В электродуговой сварке образование соединения основано на заполнении стыка между деталями металлом *электрода*, расплавленного электрической дугой. Данный способ требует качественного прогрева кромок деталей и предотвращения доступа в зону сварки кислорода и азота воздуха. Последнее обеспечивается специальным покрытием электрода, которое, разлагаясь под действием температуры дуги, выделяет большое количество газа, инертного по отношению к металлу.

Различают *ручную* и *автоматическую* электродуговую сварку. Шов, выполненный сварочным автоматом, имеет более высокое качество, а следовательно, и большую статическую и усталостную прочность. К сожалению, выполнить соединение автоматически далеко не всегда возможно.

Контактная сварка является высокопроизводительным методом и применяется для соединения листовых деталей толщиной до 4 мм. Она основана на использовании повышенного электрического сопротивления зоны контакта деталей. Различают *точечную*, *шовную* и *стыковую* контактную сварку.

Сущность контактной сварки удобно пояснить на примере ее точечной разновидности (рис. 1.10).

Детали сжимаются электродами. Ток течет между электродами, при этом теплота в основном выделяется на поверхности контакта деталей; металл плавится, и образуется сварная точка.

Шовная сварка выполняется аналогично, но в качестве электродов применяют диски, которые перекатываются по деталям в направлении шва. Появляется возможность провести герметичный шов.

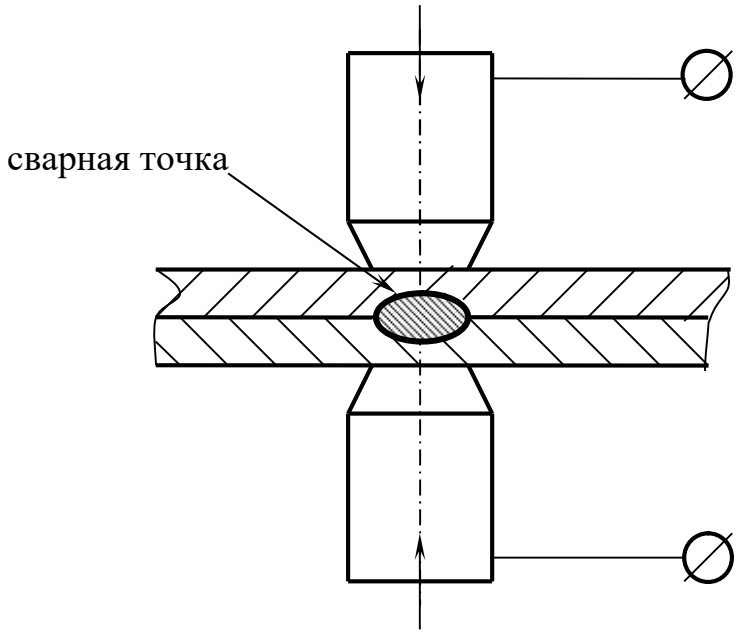


Рис. 1.10. Схема контактной точечной сварки

Стыковая контактная сварка применяется для соединения встык деталей типа стержней со сравнительно небольшой площадью поперечного сечения.

Сварные соединения обладают следующими достоинствами:

- высокая производительность и сравнительно невысокая трудоемкость сварки;

- простота обеспечения равнопрочности изделия, снижение его массы и стоимости.

Недостатки:

- необходимость правильного выбора материалов деталей;

- наличие в шве дефектов (неоднородностей, микротрещин и т.п.), и, как следствие, снижение прочности соединения.

Лучше всего свариваются детали из низкоуглеродистых сталей, например, из стали Ст 3. Стали углеродистые и легированные требуют для сварки применения специальных приемов: предварительного прогрева деталей, подачи инертного газа в зону сварки и т. д.

1.6.2. Соединения ручной электродуговой сваркой

Ручная электродуговая сварка представляет собой наиболее универсальный способ образования соединений, поэтому именно она и будет рассмотрена подробно.

Элементы сварных швов, получаемых ручной электродуговой сваркой, указаны в ГОСТ 5264. Стандарт устанавливает четыре типа соединений в зависимости от взаимного расположения соединяемых деталей: *стыковое*, *нахлёсточное*, *тавровое* и *угловое*.

Стыковое соединение (рис. 1.11) простое и зачастую наиболее надежное. При толщине деталей $s \leq 6$ мм их можно соединять без *разделки кромок* (соединение С2). В случае $s > 6$ мм расплавленный металл электрода не может заполнить зазор между деталями, получается некачественный шов пониженной прочности. Поэтому при толщинах больших 6 мм применяют подварку с другой стороны, одностороннюю и двухстороннюю разделку кромок деталей (например, соединения С5 и С21).

Нахлёсточное соединение (рис. 1.12) возникло как аналог заклепочного соединения внахлестку. Из всех сварных соединений оно наиболее простое, не требует подготовки кромок независимо от толщины деталей. Возможны одностороннее (Н1) и двухстороннее (Н2) нахлёсточные соединения.

Тавровое соединение показано на рис. 1.13 и, подобно нахлёсточному, может быть односторонним и двухсторонним. Кроме того, при бóльших s оно выполняется с разделкой кромок пристыковываемой детали.

Угловое соединение (рис. 1.14) часто применяется при изготовлении различного рода металлических емкостей – корпусов, коробов и т.п.

Различают два вида *швов*: *стыковой* шов – для образования стыковых соединений; *угловой* шов – для всех остальных соединений.

В обозначение типа *электрода* для ручной электродуговой сварки по ГОСТ 9467 входит буква «Э» и число, равное пределу прочности металла электрода, выраженному в кгс/мм^2, например, Э42, Э50А. Буква «А» в обозначении показывает, что химический состав электрода подвергается дополнитель-

ному контролю. Такие электроды применяются в ответственных соединениях для повышения надежности конструкции.

Стандарт устанавливает ряд диаметров электродов в миллиметрах: 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12... Для ручной сварки используют электроды небольших диаметров, как правило, до 6 – 8 мм, т.к. при этом достигается наивысшее качество шва в сочетании с невысокой трудоемкостью сварки.

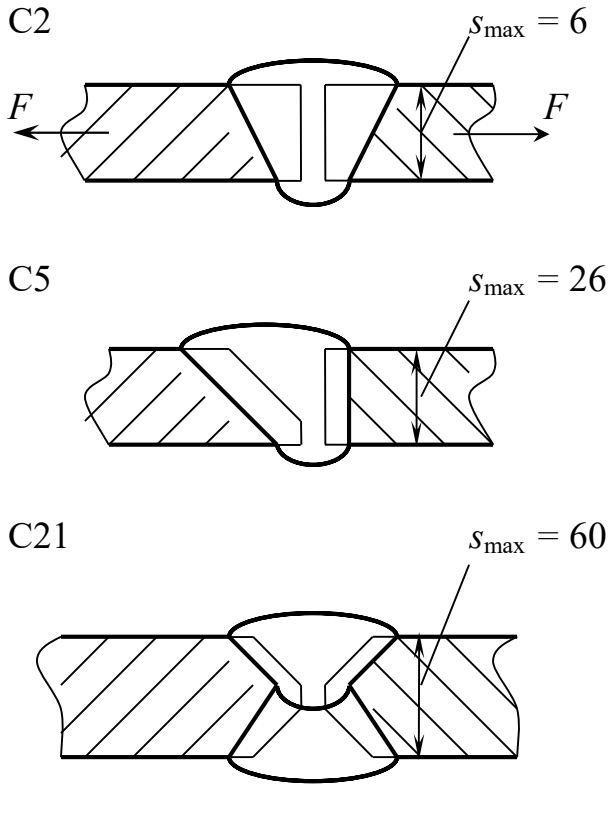


Рис. 1.11. Стыковое сварное соединение

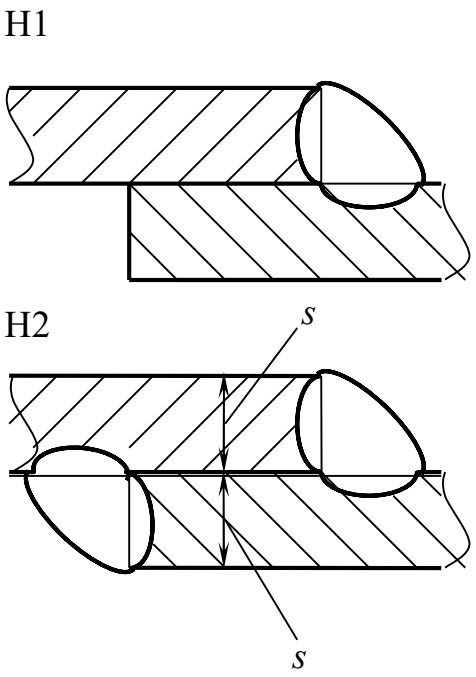
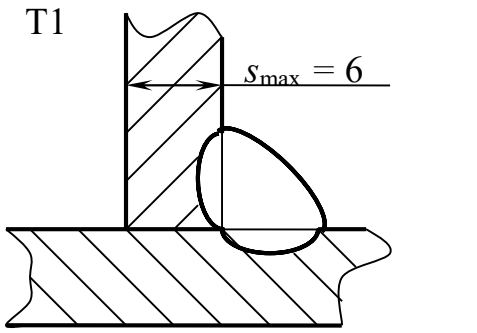


Рис. 1.12. Нахлёсточное сварное соединение



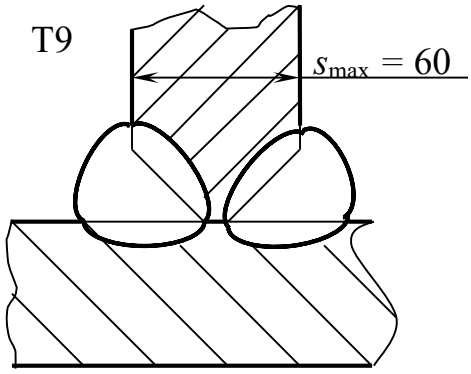
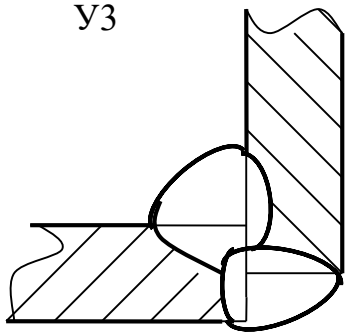


Рис. 1.13. Тавровое сварное соединение



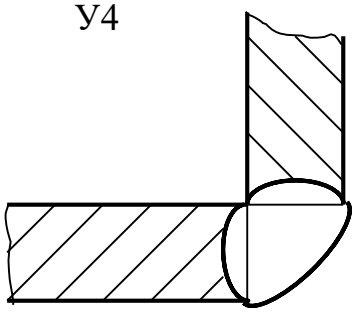


Рис. 1.14. Угловое сварное соединение

1.6.3. Расчет сварных соединений на прочность

Расчет стыкового шва производится следующим образом.

Напряжение в шве от растягивающей нагрузки (см. рис. 1.11) определяют по формуле

$$\sigma = \frac{F}{bs} \le [\sigma'] = (0{,}9...1{,}0)[\sigma_р], \qquad (1.29)$$

где b – длина шва; $[\sigma']$ – допускаемое напряжение для материала шва; $[\sigma_р]$ – допускаемое напряжение растяжения для материала деталей.

Предполагается, что стыковой шов практически равнопрочен с соединяемыми деталями. В (1.29) коэффициент 0,9 принимают при электродах Э42, Э50, а коэффициент 1,0 – при электродах Э42А, Э50А.

Напряженное состояние углового шва в нахлёсточном и тавровом соединениях существенно отличается от напряженного состояния стыкового шва даже при простейшем нагружении растягивающими силами. В материале шва возникают как нормальные, так и касательные напряжения. Инженерный расчет производится упрощенно по касательным напряжениям. По форме швы разделяют на *нормальные* – в виде равнобедренного прямоугольного треугольника, *выпуклые* и *вогнутые*. Вогнутые швы лучше сопротивляются переменной нагрузке, но выполнение их связано с дополнительной механической обработкой, а следовательно, и с дополнительными затратами. В дальнейшем рассматриваются нормальные швы как самые распространенные в практике.

На рис. 1.15 показано нахлёсточное соединение нормальным угловым швом с длиной L и катетом K. Разрушение такого шва происходит по биссектрисе AB прямого угла, что предсказано теорией и подтверждено практикой.

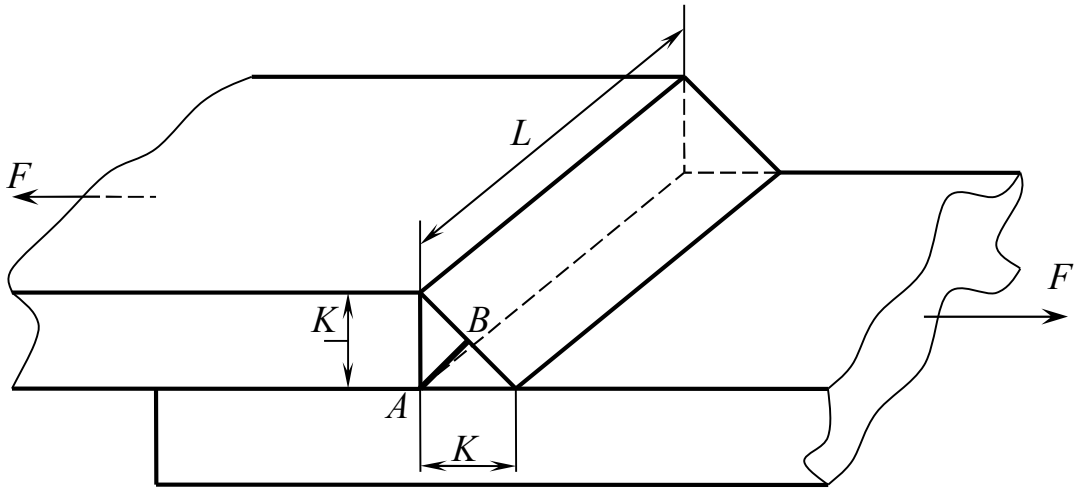


Рис. 1.15. Геометрия углового шва

Площадь опасного сечения шва

$$A_{\text{о.с}} = AB \cdot L \approx 0{,}7KL. \qquad (1.30)$$

Условие прочности шва

$$\tau = \frac{F}{A_{\text{о.с}}} = \frac{F}{0{,}7KL} \le [\tau']. \qquad (1.31)$$

Допускаемое касательное напряжение для сварных швов, выполненных электродами Э42, Э50, принимают равным $[\tau'] = 0{,}6[\sigma_{\text{р}}]$, а для швов, выполненных электродами Э42А, Э50А – равным $[\tau'] = 0{,}65[\sigma_{\text{р}}]$.

По расположению относительно направления нагрузки различают швы *фланговые* (параллельные нагрузке), *лобовые* (перпендикулярные нагрузке) и *косые*. Напряжения в лобовом и фланговом швах различаются (при прочих равных условиях), но в инженерных расчетах касательные напряжения с достаточной степенью точности определяются по одним и тем же формулам.

На рис. 1.16 приведено соединение двумя фланговыми и одним лобовым швами. Для этого случая формула (1.31) принимает следующий вид:

$$\tau = \frac{F}{0{,}7K(2L_{\text{ф}} + L_{\text{л}})} \le [\tau'], \qquad (1.32)$$

где $L_{\text{ф}}$, $L_{\text{л}}$ – длины флангового и лобового швов.

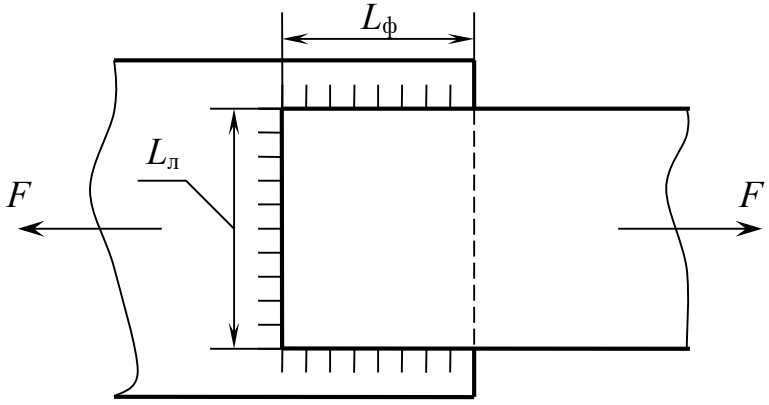


Рис. 1.16. Вариант нахлёсточного соединения двумя фланговыми и одним лобовым швами

Соединения, показанные на рис. 1.17, нагруженные парой сил с моментом T, рассчитываются по следующим формулам:

- соединение на рис. 1,17, *а*

$$\tau = \frac{T}{0{,}7KLb} \le [\tau']; \tag{1.33}$$

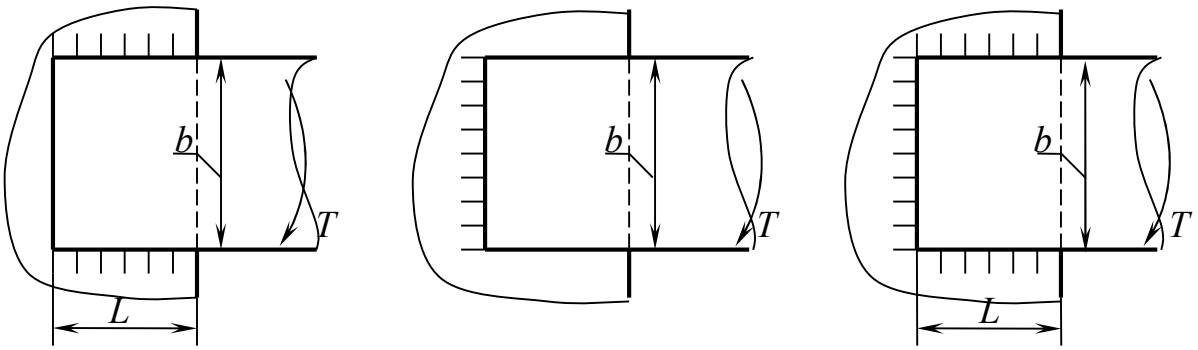
- на рис. 1.17, *б*

$$\tau = \frac{6T}{0{,}7Kb^2} \le [\tau']; \tag{1.34}$$

- на рис. 1.17, *в*

$$\tau = \frac{T}{0{,}7KLb + 0{,}7K\dfrac{b^2}{6}} \le [\tau']. \tag{1.35}$$

В тех случаях, когда соединение находится одновременно под действием различных нагрузок (поперечная и продольная силы, крутящий момент и т. п.), расчет ведут, исходя из принципа независимости действия сил.



$L < b$

а *б* *в*

Рис. 1. 17. Соединения, нагруженные парой сил с моментом *T*

1.7. Соединения с натягом

Соединения типа «вал – ступица» с натягом (фрикционные) в ММ используются значительно чаще, чем в механизмах общего назначения, что объясняется их серьезными *преимуществами* по сравнению с прочими соединениями. Например, по сравнению со шпоночными соединения с натягом:

- имеют упрощенную технологию изготовления деталей;

- обеспечивают более точное базирование деталей в соединении;

- позволяют исключить элементы, снижающие прочность деталей, такие, как шпоночные пазы.

К *недостаткам* соединений с натягом относятся трудоемкость сборки и сложность контроля качества.

Основные способы сборки – сборка прессованием и сборка нагревом. При сборке нагревом нагревают ступицу (до температуры не выше 240 °*C*) или охлаждают вал (жидким воздухом до минус 190 °*C*, сухим льдом до минус 72 °*C*), что позволяет получать соединения, способные воспринимать бóльшие нагрузки, чем соединения прессованием.

Задача расчета соединения – правильный выбор посадки, натяг в которой обеспечит необходимое давление, а значит, и силы трения на поверхности контакта деталей. Методика расчета подробно рассмотрена в технической литературе.

Контрольные вопросы

1. Что называется соединением? Какие виды соединений используются в конструкциях ММ?

2. Как выполняется расчёт на прочность соединения призматической шпонкой?

3. Дайте сравнительную характеристику шпоночных и зубчатых соединений.

4. Укажите основные геометрические параметры метрической резьбы.

5. Опишите конструкцию болта в отверстие из-под развёртки.

7. Как выполняется расчёт на прочность эксцентрично нагруженного болта?

8. Как выполняется расчёт на прочность заклёпки?

9. Какие существуют стандартные разновидности соединений ручной электродуговой сваркой?

10. Укажите основные геометрические параметры углового шва.

11. Дайте сравнительную характеристику заклёпочных и сварных соединений.

2. ПЕРЕДАЧИ

2.1. Общие сведения

Механической передачей называется механизм, преобразующий параметры движения при его передаче от двигателя к исполнительным органам машины. Передача осуществляет согласование режима работы двигателя с режимом работы исполнительных органов. Применительно к ММ часто используется также термин *преобразователь движения*.

В ряде случаев передачи предназначены для изменения направления движения или для преобразования вращательного движения в поступательное или наоборот.

Часто в функцию передачи входит регулирование частоты вращения (скорости) исполнительного органа при постоянной скорости двигателя. Такая передача называется *вариатором*.

Основными параметрами движения являются *мощность* P_1 на входе и P_2 на выходе передачи и *частоты вращения* n_1 на входе и n_2 на выходе (либо *угловые скорости* ω_1 и ω_2 соответственно). Кроме того, различают производные характеристики:

- *коэффициент полезного действия* (КПД)

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}, \tag{2.1}$$

- *передаточное отношение*, определяемое в направлении потока мощности,

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}. \tag{2.2}$$

По величине i передачи делятся на понижающие при $i > 1$ и $n_1 > n_2$, или *редукторы*, и повышающие при $i < 1$ и $n_1 < n_2$, или *мультипликаторы*. В большинстве случаев частоту вращения требуется понизить, поэтому редукторы используются значительно чаще, чем мультипликаторы.

Кроме соотношений (2.1) и (2.2), в расчете передач часто используют следующие зависимости:

$$T = \frac{P}{\omega}, \tag{2.3}$$

$$\omega = \frac{\pi n}{30}; \tag{2.4}$$

$$T_2 = T_1 i \eta, \tag{2.5}$$

где T – крутящий момент на валу передачи; T_2, T_1 – крутящий момент на выходном и на входном валу соответственно.

Механические передачи делятся на *передачи трением* (фрикционные, ременные) и *передачи зацеплением* (зубчатые, червячные, цепные, винтовые). Передачи зацеплением по сравнению с передачами трением обладают повышенной нагрузочной способностью (или меньшими размерами при равной мощности), обеспечивают высокую точность и большую величину передаточного отношения, могут использоваться в широком диапазоне скоростей.

К недостаткам их можно отнести сложность изготовления, шум при высоких скоростях, неспособность компенсировать динамические нагрузки (жесткость).

Достоинствами передач зацеплением обусловливается их преимущественное использование в ММ. Поэтому далее о передачах трением дано только общее представление, а передачи зацеплением рассмотрены подробно.

2.2. Ременные передачи

Ременная передача (рис. 2.1) состоит из двух *шкивов* – ведущего 1 и ведомого 2, закрепленных на валах, и *ремня* 3, охватывающего шкивы.

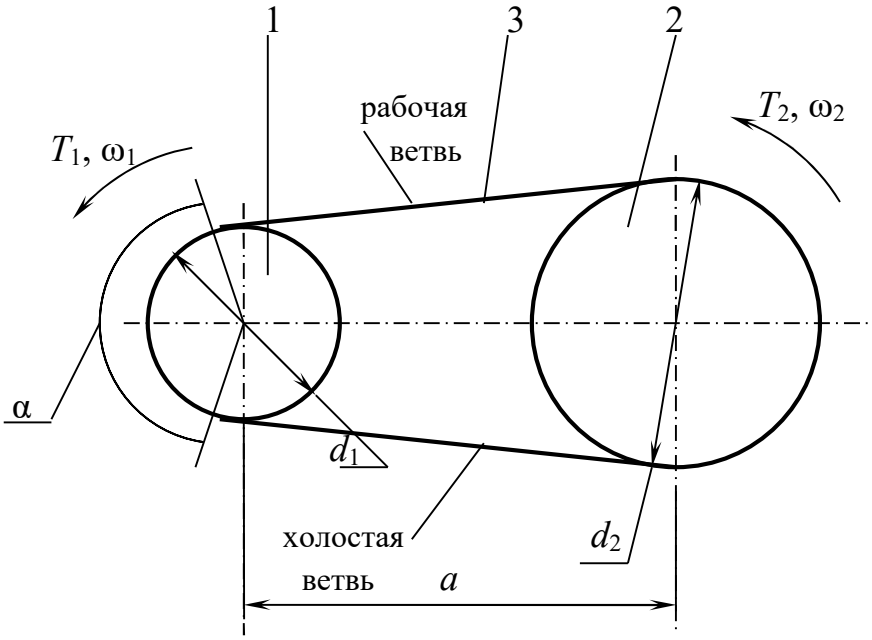


Рис. 2.1. Схема ременной передачи

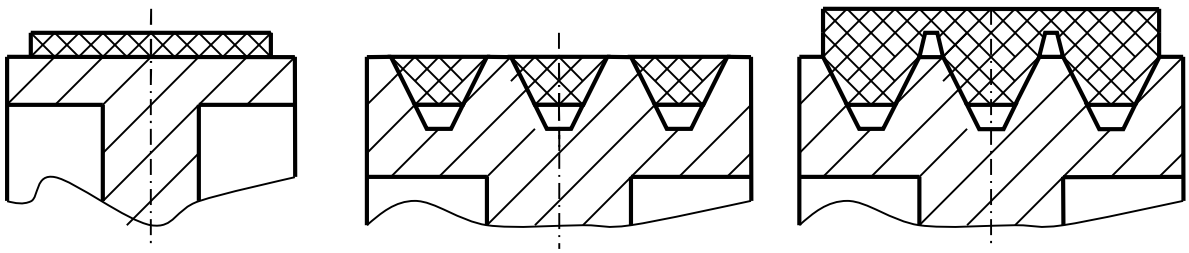
Нагрузка передается силами трения, возникающими между ремнем и шкивами вследствие натяжения ремня. Передача также может включать в себя устройство для обеспечения требуемой силы натяжения ремня (*натяжное устройство*).

По форме поперечного сечения ремня различают передачи *плоскоременные* (рис. 2.2, *а*), *клиноременные* (рис. 2.2, *б*), *поликлиноременные* (рис. 2.2, *в*), *круглоременные*, а также передачи *пленочными ремнями*. Преимущественное распространение имеют передачи первыми двумя видами ремней.

Клиноременная передача по сравнению с плоскоременной имеет важные преимущества:

- бóльшие силы трения ремня по шкиву при равных силах натяжения, а следовательно, передача бóльших крутящих моментов и мощностей;

- передача осуществляется, как правило, несколькими клиновыми ремнями, в результате чего повышается ее надежность (выход из строя одного ремня еще не означает остановку механизма, а тем более, аварию).



а *б* *в*

Рис. 2.2. Формы поперечного сечения ремней

К преимуществам плоскоременной следует отнести:

- возможность обеспечения значительных межосевых расстояний (размер *а* на рис. 2.1);

- возможность создания передач с непараллельными осями шкивов.

По способу натяжения ремней различают передачи **с** *натяжением при сборке*, *с периодическим подтягиванием* и *с автоматическим поддержанием натяжения*.

Способ натяжения ремня при сборке передачи самый простой: ремень с усилием надевают на шкивы и подтягивание его по мере износа и неупругой вытяжки не предусматривают. Нагрузочная способность такой передачи понижается, т.к. со временем натяжение ремня ослабевает.

Более совершенной в конструктивном отношении является передача, в которой возможно периодическое подтягивание ремня. Как правило, это достигается перемещением одного из шкивов, чаще – ведущего, с последующим закреплением на новом месте.

Передача с автоматическим поддержанием необходимого натяжения обычно содержит устройство в виде натяжного (плоскоременная передача) или

оттяжного (клиноременная передача) ролика, воздействующего на холостую ветвь ремня. Поджатие ролика к ремню обеспечивается пружиной или грузом.

Установка оттяжного ролика отрицательно сказывается на долговечности ремней, поэтому в клиноременных передачах чаще используют периодическое подтягивание.

К основным геометрическим параметрам ременной передачи относятся *межосевое расстояние a*, *диаметры шкивов* d_1 и d_2, *длина ремня L*, *угол обхвата ремнем малого шкива* α.

Рекомендуемые величины *a*:

- для плоскоременных передач

$$a \geq 2(d_1 + d_2); \tag{2.6}$$

- для клиноременных передач

$$0,55(d_1 + d_2) \leq a \leq 2(d_1 + d_2), \tag{2.7}$$

где *h* – высота сечения ремня.

Точное значение передаточного отношения ременной передачи

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1(1-\varepsilon)}, \tag{2.8}$$

где ε – коэффициент упругого скольжения ремня по шкиву.

При нормальной работе передачи ε = 0,01…0,03.

Соотношение крутящих моментов на шкивах

$$T_1 = \frac{T_2}{i\eta}, \tag{2.9}$$

где η – КПД передачи.

Плоскоременные передачи имеют η ≈ 0,97, клиноременные – η ≈ 0,96.

Методики расчета ременных передач изложены в учебной литературе.

2.3. Цилиндрические зубчатые передачи

2.3.1. Геометрические параметры цилиндрических зубчатых передач

Цилиндрические зубчатые передачи внешнего и внутреннего зацепления относятся к преобразователям вращательного движения *с параллельными осями колес*. Частным случаем такой передачи считают *реечное зацепление*, в котором одно из колес имеет бесконечно большой радиус, вследствие чего вырождается в прямолинейную *зубчатую рейку*.

По форме профиля зуба различают передачи *эвольвентные*, *циклоидные* и *Новикова*. В зацеплениях эвольвентном и циклоидном боковые стороны профиля зуба очерчены соответственно по эвольвенте и циклоиде. В зацеплении Новикова профиль зуба образован дугами окружностей.

Циклоидное зацепление применяется в кинематических передачах приборов. Наибольшее распространение получило эвольвентное зацепление: оно позволяет создавать достаточно прочные и малогабаритные преобразователи движения и обладает существенными технологическими преимуществами. Наиболее высокие прочностные характеристики имеет зацепление Новикова, однако оно значительно сложнее в изготовлении. Далее будут рассматриваться передачи с эвольвентными зубьями.

По расположению зубьев на колесах различают цилиндрические передачи *прямозубые* (зуб расположен по образующей цилиндра), *косозубые* (зуб расположен по винтовой линии) и *шевронные* (рис. 2.3).

Меньшее зубчатое колесо пары (рис. 2.4) называется *шестерней*, большее – *зубчатым колесом* (или просто *колесом*). Параметрам шестерни присваивается индекс 1, параметрам колеса – индекс 2.

Термины, определения и методы расчета геометрических параметров зубчатых передач стандартизованы.

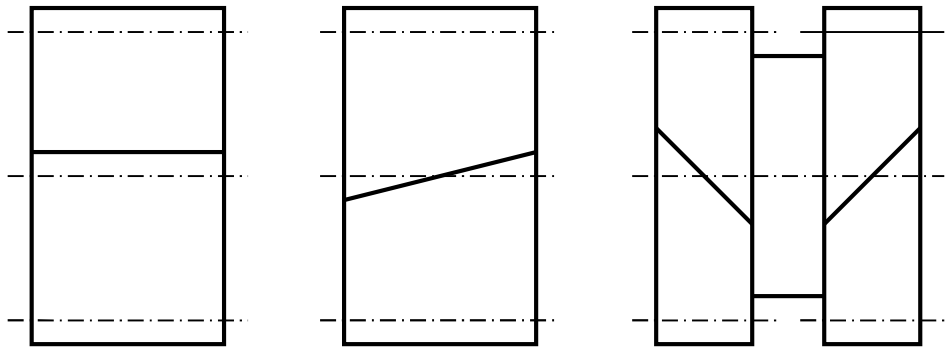


Рис. 2.3. Разновидности цилиндрических зубчатых колес
по расположению зубьев:
а – прямозубое; *б* – косозубое; *в* – шевронное

Рассмотрим сначала прямозубую передачу, а затем – особенности геометрии косозубой передачи.

Числа зубьев – z_1 и z_2.

Передаточное отношение от шестерни к колесу, называемое *передаточным числом*, равно

$$u = \frac{z_2}{z_1} \ . \qquad (2.10)$$

Делительный окружной шаг зубьев p есть расстояние между сходственными точками двух соседних зубьев по дуге делительной окружности.

Делительной окружностью называется окружность, по которой производится деление заготовки на зубья. По дуге делительной окружности толщина зуба равна толщине впадины (и равна $\frac{p}{2}$).

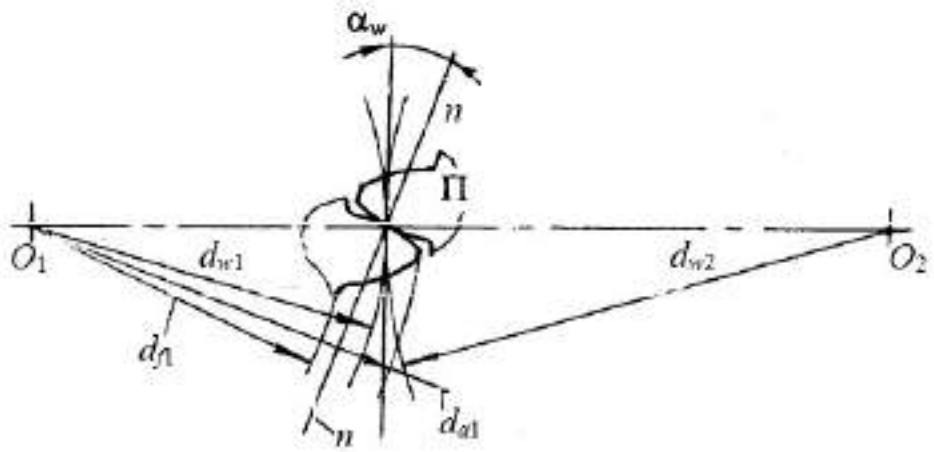


Рис. 2.4. Основные геометрические параметры прямозубой передачи

Основной характеристикой размеров зубьев является *модуль*:

$$m = \frac{p}{\pi}. \tag{2.11}$$

Значения модулей указаны в ГОСТ 9563.

Высота зуба для шестерен и колес без смещения исходного контура (о смещении исходного контура см. ниже):

$$h = 2,25m. \tag{2.12}$$

В прямозубой передаче:

- диаметры делительных окружностей

$$\begin{aligned} d_1 &= mz_1; \\ d_2 &= mz_2; \end{aligned} \tag{2.13}$$

- диаметры *окружностей вершин зубьев*

$$d_{a1} = m(z_1 + 2);$$
$$d_{a2} = m(z_2 + 2); \qquad (2.14)$$

- диаметры *окружностей впадин*

$$d_{f1} = m(z_1 - 2,5);$$
$$d_{f2} = m(z_2 - 2,5); \qquad (2.15)$$

- *межосевое расстояние*

$$O_1O_2 = a_w = 0,5m(z_1 + z_2). \qquad (2.16)$$

Кроме того, выделяют *начальные окружности*, по которым шестерня и колесо обкатываются в процессе вращения. Диаметры начальных окружностей равны

$$d_{w1} = \frac{2a_w}{u+1};$$
$$d_{w2} = 2a - d_{w1}. \qquad (2.17)$$

Для передач без смещения $d_1 = d_{w1}$; $d_2 = d_{w2}$.

Точка касания начальных окружностей, обозначенная буквой П на рис. 2.4, называется *полюсом зацепления*.

Общая нормаль *n-n* к контактирующим поверхностям зубьев, проведенная через точку П, называется *линией зацепления*. При вращении шестерни и колеса точки контакта зубьев находятся на линии *n-n*. Угол между линией зацепления и перпендикуляром к *линии центров* O_1O_2 *– угол зацепления* α_w. Стандартная величина $\alpha_w = 20°$.

На рис. 2.5 показано расположение двух соседних зубьев косозубого колеса. Сечения зубьев тремя плоскостями – нормальной *n-n*, торцовой *t-t* и осевой

а-а – дают соответственно *нормальный модуль* m_n, *торцовый модуль* m_t и *осевой модуль* m_a. В нормальном сечении профиль косого зуба совпадает с профилем прямого зуба, поэтому m_n должен быть стандартным. В торцовом и осевом сечениях модули зависят от угла наклона зуба β, стандарт на них не распространяется. В расчётах косозубых передач индекс *n* в обозначении нормального модуля по умолчанию не приводят.

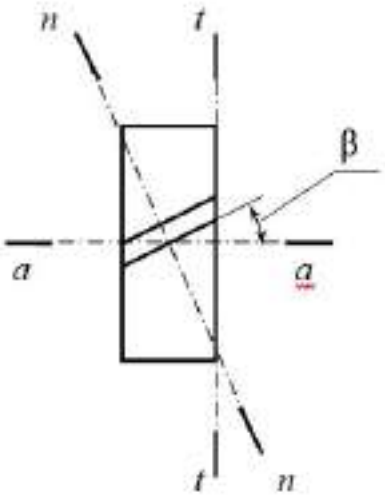


Рис. 2.5. Сечения зубьев косозубого колеса нормальной, торцовой и осевой плоскостями

Особое значение имеют геометрические параметры в торцовом сечении:

- модуль торцовый

$$m_t = \frac{m_n}{\cos\beta}; \qquad (2.18)$$

- диаметр делительный

$$d = m_t z = \frac{m_n z}{\cos\beta}; \qquad (2.19)$$

- шаг окружной

$$p_t = \frac{p_n}{\cos\beta}. \qquad (2.20)$$

Геометрические параметры зубчатой передачи не исчерпываются указанными выше. Подробнее геометрия зубчатых передач изложена в учебной и технической литературе.

Рассмотрим, как число зубьев влияет на их форму.

Одним из наиболее технологичных и широко применяемых способов изготовления зубчатых колес является так называемый *способ обкатки*. Суть способа сводится к тому, что зубонарезающий инструмент в виде зубчатой рейки или шестерни вводится «в зацепление» с заготовкой, и перемещения инструмента и заготовки в процессе обработки подобны перемещениям пары деталей, находящихся в зацеплении.

При изготовлении обкаткой боковые стороны профиля зуба получаются эвольвентными. С увеличением числа зубьев колеса боковые стороны приближаются к прямолинейным, и в предельном случае, когда $z = \infty$ (зубчатая рейка), профиль приобретает форму равнобокой трапеции. Наоборот, с уменьшением числа зубьев толщина зуба у основания и вершины уменьшается, кривизна профиля увеличивается. Когда z становится меньше некоторого минимального значения $z_{\min}$, зубья инструмента, проворачиваясь во впадине заготовки, удаляют материал из ножки зуба. Это явление называется *подрезанием ножки*, оно существенно снижает прочность зуба. Для прямозубых передач считают $z_{\min} = 17$.

При необходимости выполнения $z < z_{\min}$, а также в некоторых других случаях применяют смещение нарезающего инструмента: инструмент отодвигают от положения, соответствующего нарезанию без смещения, на расстояние xm, где x – коэффициент смещения исходного контура. Смещение считают положительным, если оно направлено от центра, и отрицательным, если к центру

заготовки. Шестерни нарезают при положительном смещении, что позволяет существенно изменить форму зуба: он становится короче и толще, подрезание ножки устраняется.

Нарезание зубьев со смещением является определенным усложнением процесса изготовления, поэтому рекомендуется по возможности не назначать z меньше $z_{\min}$. Увеличения числа зубьев практически всегда можно достичь уменьшением модуля.

2.3.2. Силы, действующие в зубчатом зацеплении

На рис. 2.6 показано прямозубое зацепление.

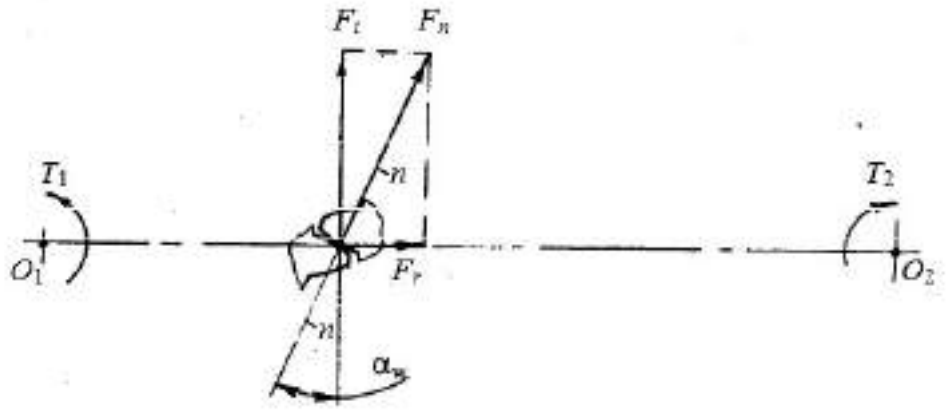


Рис. 2.6. Силы в прямозубом зацеплении

Силу нормального давления зуба шестерни на зуб колеса F_n можно разложить на две составляющих:

- окружную силу

$$F_t = \frac{2T_2}{d_2}; \tag{2.21}$$

- радиальную силу

$$F_r = F_t \operatorname{tg}\alpha_w. \tag{2.22}$$

Саму силу F_n вычисляют по выражению

$$F_n = \frac{F_t}{\cos \alpha_w}. \qquad (2.23)$$

В косозубом зацеплении (рис. 2.7) нормальную силу раскладывают на три составляющих:

- окружную силу – см. формулу (2.21);

- радиальную силу

$$F_r = \frac{F_t \operatorname{tg}\alpha_w}{\cos\beta}; \qquad (2.24)$$

- осевую силу

$$F_a = F_t \operatorname{tg}\beta. \qquad (2.25)$$

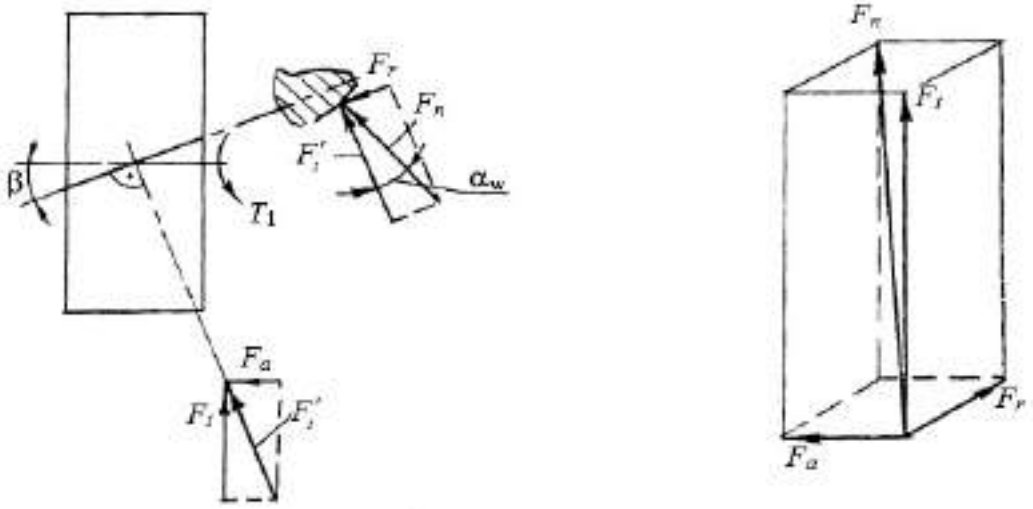


Рис. 2.7. Силы, действующие на зуб косозубого колеса

Нормальная сила является диагональю параллелепипеда с ребрами, равными F_t, F_r и F_a, и может быть найдена так:

$$F_n = \frac{F_t}{\cos\alpha_w \cos\beta}. \qquad (2.26)$$

2.3.3. Виды разрушения зубьев

Основной вид разрушения поверхности зубьев при хорошей смазке передачи, надежно защищенной от попадания пыли и грязи, – *усталостное выкрашивание*. Зубья таких передач разделены тонким слоем масла, устраняющим металлический контакт. Износ зубьев мал. Передача работает длительное время до появления усталости в поверхностных слоях зубьев. На поверхности появляются небольшие углубления, которые растут и превращаются в раковины. Выкрашиванию способствует смазка, она запрессовывается зубьями в трещины и своим давлением отделяет частицы металла. Причина усталостного выкрашивания – контактные напряжения σ_H.

Основные меры предупреждения выкрашивания: расчет передачи на усталость по контактным напряжениям; применение материалов с повышенной твердостью поверхности; повышение точности изготовления и монтажа передач. Во многих случаях выкрашивания можно избежать, если предусмотреть приработку зубьев в процессе эксплуатации передачи (о приработке см. ниже).

Поломка зубьев связана с напряжениями изгиба σ_F. Различают *полный* (по всей длине) и *угловой* излом. Одна из причин полного излома – перегрузки ударного или статического характера. Другая причина – усталостная поломка от действия переменных напряжений. Причиной углового излома являются погрешности передачи, в результате которых нагрузка воспринимается не всей длиной зуба, а концентрируется на одном из его углов.

Поломку от перегрузок предупреждают защитой передачи посредством различных предохранительных устройств или учетом перегрузок при расчете; поломку от переменных напряжений предупреждают определением размеров из

расчета на усталость. К общим мерам относятся: увеличение модуля, положительное смещение при нарезании зубьев, термообработка, устранение концентраторов напряжений (рисок от обработки, раковин в отливках, микротрещин от термообработки). Углового излома можно избежать повышением точности сборки передачи (в частности, обеспечением параллельности осей колес) и применением зубьев со срезанными углами.

Открытые передачи, а также закрытые, но недостаточно защищенные от попадания абразивных частиц, выходят из строя в основном из-за *абразивного износа*. По мере износа зубьев увеличиваются зазоры в зацеплении, появляется шум, возрастают динамические нагрузки. Толщина зубьев уменьшается, и соответственно снижается их прочность.

Основные меры борьбы с износом: повышение твердости поверхности зубьев, защита от загрязнения, применение специальных смазочных материалов. Большое значение имеет своевременное диагностирование сверхнормативного износа и замена изношенных колес.

Кроме перечисленных видов разрушения зубьев, наблюдаются такие, как заедание, пластический сдвиг, отслаивание твердого поверхностного слоя. Однако при грамотном расчете, качественном изготовлении и правильной эксплуатации передачи вероятность этих разрушений значительно ниже.

2.3.4. Материалы зубчатых передач

В настоящее время установлено, что контактная прочность зубьев определяется в основном твердостью материала. Наибольшая твердость, а следовательно, наименьшие габариты и массу передачи можно получить при изготовлении колес из сталей, подвергнутых термической обработке.

В зависимости от твердости стальные зубчатые колеса разделяют на две основные группы: твердостью $HB < 350$ и твердостью $HB > 350$.

Твердость $HB < 350$ позволяет производить чистовое нарезание зубьев после термообработки, в результате чего можно получать высокую точность без дорогих отделочных операций (шлифовки, притирки и т.п.). Колеса этой группы хорошо прирабатываются и не подвержены хрупкому разрушению при динами-

ческих нагрузках. Под *приработкой* понимают износ поверхностей зубьев передачи, приводящий к более равномерному распределению нагрузки по длине зуба, а потому существенно повышающий надежность зубчатых колес. Приработку зубьев широко используют в условиях индивидуального и мелкосерийного производства в мало- и средненагруженных передачах. Обычно для лучшей приработки твердость шестерни назначают на 20…50*HB* больше, чем твердость колеса.

Твердость материалов второй группы (*HB* > 350) обычно выражают в единицах *HRC*. Соотношение единиц *HB* и *HRC* таково: 1*HRC* ≈ 10*HB*. Специальными видами термообработки могут быть получены твердости 50…60 *HRC*, причем допускаемые контактные напряжения возрастают примерно в два раза, а нагрузочная способность передачи – в четыре раза по сравнению с передачей, изготовленной из материалов первой группы. Очевидно, что применение высокотвердых материалов является большим резервом повышения нагрузочной способности зубчатых передач.

К недостаткам материалов этой группы следует отнести плохую прирабатываемость и, как следствие, необходимость повышенной точности изготовления деталей передач и их монтажа. Кроме того, некоторые виды термообработки (объемная закалка, цементация) сопровождаются значительным короблением зубьев. Для исправления формы зубьев требуются дополнительные операции.

Данные по механическим характеристикам некоторых наиболее широко используемых сталей приведены в табл. 2.1. Материалы группы *HB* < 350 представлены нормализованными и улучшенными сталями, а группы *HB* > 350 – закаленными объемной или поверхностной закалкой, а также азотированными.

В зависимости от способа получения заготовки различают литые, кованые, штампованные колеса и колеса из круглого проката.

2.3.5. Методика расчета закрытой зубчатой передачи

2.3.5.1. Общие положения

Настоящая методика основана на ГОСТ 21354 и ГОСТ 2185, предназначена для расчета на усталостную и статическую прочность эвольвентных цилин-

дрических зубчатых передач и может быть использована студентами при конструировании ММ в ходе курсового и дипломного проектирования.

Таблица 2.1

Механические характеристики сталей

Группа сталей	Марка стали	Термообработка	Твердость		$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа
			поверхности	сердцевины		
HB < 350	35	Н	163…192*HB*		550	270
	40	У	192…228*HB*		700	400
	45	Н	179…207*HB*		600	320
		У	235…262*HB*		780	540
		У	269…302*HB*		890	650
	40Х	У	235…262*HB*		790	640
		У	269…302*HB*		900	750
	40ХН	У	235…262*HB*		800	650
		У	269…302*HB*		920	750
	35ХМ	У	235…262*HB*		800	670
		У	269…302*HB*		920	790
	35Л	Н	163…207*HB*		550	270
	40Л	Н	147*HB*		520	295
	45Л	У	207…235*HB*		680	440
	40ГЛ	У	235…262*HB*		850	600
HB > 350	40Х	У + ТВЧ	45…50*HRC*	269…302*HB*	900	750
		А	50…59*HRC*	269…302*HB*	1000	800
	40ХН	З	48…54*HRC*		1600	1400
		У + ТВЧ	48…54*HRC*	269…302*HB*	920	750
	35ХМ	З	45…53*HRC*		1600	1400
		У + ТВЧ	48…54*HRC*	269…302*HB*	920	790
	38ХМЮА	З	45…53*HRC*		1700… 1950	1350… 1600
		А	57…67*HRC*	30…35*HRC*	1050	900
Обозначение термообработки: У – улучшение; Н – нормализация; З – закалка объемная; ТВЧ – закалка с нагревом токами высокой частоты; А – азотирование						

Бóльшую часть общего количества выпускаемых в настоящее время зубчатых передач составляют одно- и двухступенчатые редукторы, поэтому в методике рассматривается двухступенчатый редуктор.

Рекомендуется следующий порядок расчета:

- выбор двигателя по требуемой номинальной мощности, заданной частоте вращения и условиям работы;

- кинематический расчет редуктора, разбивка его передаточного числа по ступеням;

- выбор материалов для шестерен и колес, определение допускаемых напряжений;

- определение крутящих моментов на шестернях и колесах ступеней;

- проектировочный расчет передачи тихоходной ступени;

- проверочные расчеты передачи тихоходной ступени;

- проектировочный расчет передачи быстроходной ступени;

- проверочные расчеты передачи быстроходной ступени.

2.3.5.2. Исходные данные для расчета

Задание на курсовой проект содержит следующие *обязательные* данные, использующиеся как исходные при расчете редуктора:

- кинематическая схема ММ, дающая возможно более полное представление о том, как передается вращение на ведущий вал и снимается с ведомого вала передачи;

- номинальный крутящий момент на выходном валу $T_т$, Нм;

- частота вращения выходного вала $n_т$, об/мин;

- срок службы ММ $T_{сл}$, лет;

- нагрузочная диаграмма (циклограмма), отражающая изменение крутящего момента на выходном валу в течение рабочей смены (рабочего цикла).

Кроме указанных, задание может включать в себя *дополнительные требования*, например, максимальные допустимые значения кинематической погрешности и мертвого хода, кратность максимального допустимого пикового момента, направление вращения выходного вала, максимальные допустимые габаритные размеры ММ и т. д.

2.3.5.3. Выбор двигателя

Тип двигателя ММ проектант выбирает самостоятельно, руководствуясь рекомендациями учебно-методической литературы. В настоящей методике для определенности принят наиболее широко распространенный в машиностроении трехфазный асинхронный короткозамкнутый электродвигатель.

Требуемую номинальную мощность двигателя вычисляют по формуле

$$P_{\text{тр}} = \frac{T_{\text{т}} n_{\text{т}}}{\eta_{\text{б}} \eta_{\text{т}} \eta_{\text{п}}^{3}}, \qquad (2.27)$$

где $\eta_{\text{б}}$, $\eta_{\text{т}}$ – КПД быстроходной и тихоходной ступеней соответственно; $\eta_{\text{п}}$ = 0,99 – КПД пары подшипников качения.

Как правило, в ММ применяются зубчатые передачи степеней точности не ниже 7, для которых $\eta_{\text{б}} = \eta_{\text{т}} = 0{,}98\ldots0{,}99$.

Затем принимают типоразмер двигателя по условию

$$P_{\text{дв}} \geq P_{\text{тр}}, \qquad (2.28)$$

где $P_{\text{дв}}$ – номинальная мощность двигателя по каталогу.

Допустимо превышение требуемой мощности над номинальной, если выполняется условие

$$\frac{P_{\text{тр}} - P_{\text{дв}}}{P_{\text{дв}}} \cdot 100\% \leq [\Delta P], \qquad (2.29)$$

где $[\Delta P]$ – допустимая перегрузка двигателя принятого типа.

2.3.5.4. Кинематический расчет редуктора

Расчетное передаточное число редуктора

$$u_{\text{р}} = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{т}}}, \qquad (2.30)$$

где $n_{\text{дв}}$ – частота вращения вала двигателя.

В том случае, если в исходных данных отсутствует требование абсолютно точного обеспечения заданной величины $n_{\text{т}}$, следует для дальнейшего проектирования принимать передаточное число редуктора u в соответствии со стандартным рядом передаточных чисел по условию

$$\frac{|u - u_{ст}|}{u_{ст}} \cdot 100\% \le \Delta u, \qquad (2.31)$$

где $u_{ст}$ – ближайшее к $u_р$ значение передаточного числа из стандартного ряда; Δu – допустимое отклонение передаточного числа от стандартного значения.

Для цилиндрических зубчатых передач при $u_р \le 4{,}5$ отклонение $\Delta u = 2{,}5\%$, при $u_р > 4{,}5$ $\Delta u = 4\%$.

В том случае, если условие (2.31) выполняется при подстановке вместо u значения $u_р$, можно принять либо $u = u_р$, либо $u = u_{ст}$. И то, и другое решение будет правомерно.

Для принятого u далее следует, пользуясь рекомендациями табл. 2.2, 2.3, определить передаточные числа ступеней: быстроходной $u_б$ и тихоходной $u_т$.

Таблица 2.2

Передаточные числа ступеней косозубых трехосных редукторов $\left(\frac{a_{wт}}{a_{wб}} = 1{,}4\right)$

Передаточное число ступени	Передаточное число редуктора u										
	10	11,2	12,5	14	16	18	20	22,4	25	28	31,5
$u_б$	3,55	4		4,5	5	5,6		6,3	7,1		8
$u_т$	2,8		3,15				3,55			4	

Таблица 2.3

Передаточные числа ступеней косозубых соосных редукторов $\left(\frac{\psi_{baт}}{\psi_{baб}} = 2\right)$

Передаточное число ступени	Передаточное число редуктора u										
	10	11,2	12,5	14	16	18	20	22,4	25	28	31,5
$u_б$	4,5		5	5,6		6,3	7,1		8	9	
$u_т$	2,24	2,5			2,8			3,15			3,55

Далее следует найти частоты вращения и угловые скорости валов:

- быстроходного

$$n_{б} = n_{дв};$$

$$\omega_{б} = \frac{\pi n_{б}}{30}; \quad (2.32)$$

- промежуточного

$$n_{п} = \frac{n_{б}}{u_{б}}, \quad (2.33)$$

$$\omega_{п} = \frac{\omega_{б}}{u_{б}}; \quad (2.34)$$

- тихоходного

$$n_{т} = \frac{n_{п}}{u_{т}}, \quad (2.35)$$

$$\omega_{т} = \frac{\omega_{п}}{u_{т}}. \quad (2.36)$$

2.3.5.5. Материалы шестерен и колес. Допускаемые напряжения

Марки сталей и режимы термообработки для шестерен и колес редуктора назначают по рекомендациям п. 2.3.4 и данным табл. 2.1.

Допускаемое контактное напряжение при расчете на выносливость определяют по формуле

$$[\sigma_{H}] = \frac{\sigma_{H\lim b}}{S_{H}} K_{HL}, \quad (2.37)$$

где $\sigma_{H\lim b}$ – базовый предел контактной выносливости поверхности зубьев, соответствующий базовому числу циклов перемены напряжений N_{H0}; S_H – коэффициент безопасности; K_{HL} – коэффициент долговечности.

Значения N_{H0} определяют по табл. 2.4, $\sigma_{H\lim b}$ – по табл. 2.5.

Коэффициент S_H = 1,1 для нормализованных, улучшенных и объемно закаленных сталей (для материалов с однородной структурой); S_H = 1,2 для закаленных с нагревом ТВЧ и азотированных сталей (для материалов с неоднородной структурой).

Таблица 2.4

Значения N_{H0}, млн. циклов

Твердость зубьев										
	HB	200	250	300	–	–	–	–	–	–
	HRC	–	–	–	36	42	47	52	56	59
N_{H0}		10	12,5	25	35	50	65	85	110	150

Таблица 2.5

Значения $\sigma_{H\lim b}$

Вид термообработки	Твердость поверхности зубьев	Группа сталей	$\sigma_{H\lim b}$, МПа
Нормализация, улучшение	*HB* < 350	Углеродистые и легированные	$2HB_{ср}$* + 70
Закалка объемная	38…50*HRC*		$18HRC_{ср}$* + 150
Закалка с нагревом ТВЧ	40…56*HRC*		$17HRC_{ср}$* + 200
Азотирование	57…67*HRC*	Легированные	$16HRC_{ср}$*
П р и м е ч а н и е. *Средние значения твердости в диапазоне (см. табл. 2.1)			

Коэффициент долговечности определяют из выражения

$$1 \le K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{H0}}{N_{HE}}} \le K_{HL\max}, \qquad (2.38)$$

где N_{HE} – эквивалентное число циклов перемены напряжений; $K_{HL\max}$ – максимальное допустимое значение коэффициента долговечности, зависящее от вида термообработки (при объемном упрочнении $K_{HL\max}$ = 2,6; при поверхностном упрочнении $K_{HL\max}$ = 1,8).

Как видно из (2.38), $K_{HL\max}$ не может быть меньше единицы, поэтому при $N_{H0} < N_{HE}$ считают K_{HL} = 1.

Величина N_{HE} зависит от нагрузочной диаграммы. При постоянной нагрузке

$$N_{HE} = 60nct, \tag{2.39}$$

где n – частота вращения, об/мин, колеса (шестерни), $[\sigma_H]$ которого определяется; c – число зацеплений зуба за один оборот колеса (шестерни); t – заданный срок службы редуктора, ч.

В том случае, если задана ступенчатая нагрузочная диаграмма, N_{HE} определяют так:

$$N_{HE} = 60c\sum\left(\frac{T_i}{T_1}\right)^3 n_i t_i, \tag{2.40}$$

где T_i – крутящий момент на i-ой ступени циклограммы; T_1 – наибольший момент на циклограмме, учитываемый в расчете на выносливость; n_i, t_i – соответствующие моменту T_i частота и время работы.

Для *прямозубой* ступени, а также для *косозубой с небольшой разностью твердости* зубьев шестерни и колеса в качестве расчетного принимают *меньшее* из двух допускаемых напряжений, определенных по материалу шестерни $[\sigma_H]_1$ и колеса $[\sigma_H]_2$.

Для *косозубой* ступени *с большой разностью твердости* зубьев шестерни и колеса в качестве расчетного принимают напряжение, определенное по формуле

$$[\sigma_H] = 0,45([\sigma_H]_1 + [\sigma_H]_2) \tag{2.41}$$

с проверкой по условию

$$[\sigma_H]_{\min} \le [\sigma_H] \le 1,25[\sigma_H]_{\min}, \tag{2.42}$$

где $[\sigma_H]_{\min}$ – меньшее из значений $[\sigma_H]_1$ и $[\sigma_H]_2$.

В том случае, если $[\sigma_H] < [\sigma_H]_{\min}$, принимают $[\sigma_H] = [\sigma_H]_{\min}$; если же $[\sigma_H] > 1{,}25[\sigma_H]_{\min}$, то принимают $[\sigma_H] = 1{,}25[\sigma_H]_{\min}$.

Допускаемое напряжение изгиба при расчете на выносливость определяют по формуле

$$[\sigma_F] = \frac{\sigma_{F\lim b}}{S_F} K_{FC} K_{FL}, \qquad (2.43)$$

где $\sigma_{F\lim b}$ – базовый предел выносливости зубьев по излому от напряжений изгиба (см. табл. 2.6); S_F – коэффициент безопасности; K_{FC} – коэффициент влияния двухстороннего приложения нагрузки; K_{FL} – коэффициент долговечности.

Коэффициент S_F принимают в зависимости от вида термообработки из диапазона 1,7…2,2 (верхнее значение – для литых колес).

Коэффициент $K_{FC} = 1$ для односторонней нагрузки, $K_{FC} = 0{,}7…0{,}8$ для реверсивной нагрузки (бóльшие значения при $HB > 350$).

Коэффициент K_{FL} определяют по (2.43):

$$1 \le K_{FL} = \sqrt[m]{\frac{4 \cdot 10^6}{N_{FE}}} \le K_{FL\max}, \qquad (2.44)$$

где m – показатель степени; N_{FE} – эквивалентное число циклов нагружения напряжениями изгиба; $K_{FL\max}$ – максимальное допустимое значение коэффициента долговечности.

При $HB \le 350$, а также для шестерен и колес со шлифованными зубьями $m = 6$, $K_{FL\max} = 2{,}0$; при $HB > 350$, а также для шестерен и колес с нешлифованными зубьями $m = 9$, $K_{FL\max} = 1{,}6$.

При постоянной нагрузке значение N_{FE} находят по формуле (2.39), при изменении нагрузки по нагрузочной диаграмме – по формуле (2.44):

$$N_{FE} = 60c\sum\left(\frac{T_i}{T_1}\right)^m n_i t_i. \qquad (2.45)$$

Таблица 2.6

Значения $\sigma_{F\lim b}$

Вид термообработки	Твердость зубьев		Группа сталей	$\sigma_{F\lim b}$, МПа
	поверхность	сердцевина		
Нормализация, улучшение	180…350*HB*		Углеродистые и легированные	$1{,}8HB_{ср}$
Закалка объемная	45…55*HRC*			550…600
Закалка с нагревом ТВЧ	40…56*HRC*	$HB \le 350$		$1{,}8HB_{ср}$
Азотирование	57…67*HRC*	24…40*HRC*	Легированные	43…49$HRC_{ср}$

Предельное допускаемое контактное напряжение для проверки ступени на прочность при перегрузках (пиковых нагрузках):

- для нормализованных, улучшенных или объемно закаленных зубьев

$$[\sigma_{H\max}] = 2{,}8\sigma_т; \qquad (2.46)$$

- для зубьев, закаленных с нагревом ТВЧ

$$[\sigma_{H\max}] = 44\,HRC_{ср}; \qquad (2.47)$$

- для азотированных зубьев

$$[\sigma_{H\max}] = 35\,HRC_{ср}. \qquad (2.48)$$

Предельное допускаемое напряжение изгиба для проверки ступени на прочность при перегрузках определяют следующим образом:

$$[\sigma_{F\max}] = \frac{\sigma_{F\lim b}}{S_{ST}} Y_{N\max} k_{ST}, \qquad (2.49)$$

где $Y_{N\max}$ – максимальное возможное значение коэффициента долговечности (для объемной термообработки $Y_{N\max} = 4{,}0$; для поверхностной термообработки $Y_{N\max} = 2{,}5$); k_{ST} – коэффициент влияния частоты приложения пиковой нагрузки (при многократном – порядка 1000 – действии перегрузок $k_{ST} = 1$); S_{ST} – коэффициент запаса прочности (обычно принимают $S_{ST} = 1{,}75$).

В настоящее время в преобразователях движения ММ и роботов применяются практически исключительно косозубые передачи, поэтому именно они и рассматриваются далее в методике.

2.3.5.6. Крутящие моменты на шестернях и колесах ступеней

Крутящий момент на колесе тихоходной ступени равен

$$T_{2т} = \frac{T_т}{\eta_п}; \qquad (2.50)$$

крутящий момент на шестерне тихоходной ступени и колесе быстроходной ступени

$$T_{1т} = T_{2б} = \frac{T_{2т}}{u_т \eta_т \eta_п^{\,2}}; \qquad (2.51)$$

крутящий момент на шестерне быстроходной ступени

$$T_{1б} = \frac{T_{2б}}{u_б u_т \eta_б \eta_т \eta_п^{\,3}}. \qquad (2.52)$$

2.3.5.7. Проектировочный расчет тихоходной ступени

Расчетное межосевое расстояние определяют по формуле

$$a'_{w\text{т}} = 430(u_\text{т} \pm 1)\sqrt[3]{\frac{T_{2\text{т}} K_{H\beta\text{т}}}{u_\text{т}^2 \psi_{ba\text{т}} [\sigma_H]_\text{т}^2}}, \text{мм}, \qquad (2.53)$$

где $K_{H\beta\text{т}}$ – коэффициент неравномерности распределения нагрузки по длине зуба колеса тихоходной ступени (табл. 2.8); $\psi_{ba\text{т}}$ – коэффициент ширины колеса тихоходной ступени относительно ее межосевого расстояния; $[\sigma_H]_\text{т}$ – допускаемое контактное напряжение для тихоходной ступени.

Знак плюс в (2.53) соответствует внешнему зацеплению, минус – внутреннему зацеплению.

Смысл коэффициента $\psi_{ba\text{т}}$ проясняет формула

$$\psi_{ba\text{т}} = \frac{b_{2\text{т}}}{a_{w\text{т}}}, \qquad (2.54)$$

где $b_{2\text{т}}$ – ширина венца колеса тихоходной ступени.

Стандартный ряд значений $\psi_{ba\text{т}}$: 0,100; 0,125; 0,160; 0,200; 0,250; 0,315; 0,400; 0,500; 0,630; 0,800; 1,00; 1,25. Следует применять в расчете коэффициент ψ_{ba} из этого ряда в соответствии с рекомендациями табл. 2.7.

Далее следует принять *стандартное межосевое расстояние* $a_{w\text{т}}$, ближайшее к расчетному $a'_{w\text{т}}$, по табл. 2.9.

Определение *основных геометрических параметров* ступени целесообразно начать с выбора нормального модуля по рекомендации

$$1{,}50 \le m_{n\text{т}} \le (0{,}01...0{,}02) a_{w\text{т}}, \text{ мм}, \qquad (2.55)$$

из стандартного ряда: 1,50; 1,75; 2,00; 2,25; 2,50; 2,75; 3,00; 3,50; 4,00; 1,50; 5,00; 5,50; 6,00; 7,00; 8,00…

В обоснованных случаях для передач 6 и 7 степеней точности могут быть приняты модули по ГОСТ 9563 менее 1,5 мм.

Таблица 2.7

Рекомендуемые значения ψ_{ba}

Расположение колеса относительно опор	Твердость рабочих поверхностей зубьев	
	$HB_2 \le 350$	$HB_2 > 350$
Симметричное	0,200…0,400	0,200…0,315
Несимметричное		0,200; 0,250
Консольное	0,200; 0,250	0,160; 0,200
П р и м е ч а н и е. В шевронных передачах ψ_{ba} следует увеличить в 1,1…1,4 раза; для подвижных колес коробок передач ψ_{ba} = 0,100…0,200		

Затем нужно предварительно задать значение угла наклона зубьев $\beta' = 8\ldots15^{\circ}$ (обычно принимают $\beta' = 10^{\circ}$), после чего определить *расчетное суммарное число зубьев* передачи по формуле

$$z'_{\text{ст}} = \frac{2a_{w\text{т}} \cos \beta'_{\text{т}}}{m_{n\text{т}}}. \qquad (2.56)$$

Полученное число $z'_{\text{ст}}$ округлить до ближайшего целого $z_{\text{ст}}$.

Уточненную величину угла наклона зубьев определяют по формуле

$$\beta_{\text{т}} = \arccos \frac{z_{\text{ст}} m_{n\text{т}}}{2a_{w\text{т}}} \qquad (2.57)$$

с точностью до угловых секунд.

Расчетное число зубьев шестерни равно

$$z'_{1\text{т}} = \frac{z_{\text{ст}}}{u_{\text{т}} + 1}. \qquad (2.58)$$

Полученное число $z'_{1\text{т}}$ округлить до ближайшего целого $z_{1\text{т}}$.

Таблица 2.8

Значения коэффициента $K_{H\beta}$

Относительная ширина колеса ψ_{bd}	Шестерня расположена симметрично относительно опор		Шестерня расположена несимметрично относительно опор				Консольное расположение шестерни или колеса	
			весьма жесткий вал		менее жесткий вал			
	Твердость поверхностей зубьев HB_2							
	> 350	< 350	> 350	< 350	> 350	< 350	> 350	< 350
0,2	1,00		1,01	1,00	1,06	1,02	1,15	1,07
0,4	1,01	1,00	1,05	1,02	1,12	1,05	1,35	1,15
0,6	1,03	1,01	1,09	1,04	1,20	1,08	1,60	1,24
0,8	1,06	1,03	1,14	1,06	1,27	1,12	1,85	1,30
1,0	1,10	1,04	1,18	1,08	1,37	1,15	–	
1,2	1,13	1,05	1,25	1,10	1,50	1,18		
1,4	1,15	1,07	1,32	1,13	1,60	1,23		
1,6	1,20	1,08	1,40	1,16	–	1,28		
П р и м е ч а н и е. Относительная ширина колеса $\psi_{bd} = 0{,}5(u + 1)\psi_{ba}$.								

Таблица 2.9

Межосевые расстояния двухступенчатых трехосных цилиндрических редукторов

$a_{w\text{б}}$, мм	50	63	80	100	112	125	140	160	180
$a_{w\text{т}}$, мм	63	80	112	140	160	180	200	224	250
$a_{w\text{б}}$, мм	200	224	250	280	315	355	400	450	500
$a_{w\text{т}}$, мм	280	315	355	400	450	500	560	630	710

Во избежание подрезания зубьев должно выполняться условие

$$z_{1\text{т}} \geq 17\cos^3\beta_{\text{т}}. \qquad (2.59)$$

Если условие (2.59) не выполняется, следует принять меньшее значение $m_{n\text{т}}$ из стандартного ряда и заново выполнить (2.56) – (2.58).

Далее находят число зубьев колеса

$$z_{2\text{т}} = z_{\text{ст}} - z_{1\text{т}} \qquad (2.60)$$

и *фактическое передаточное число* ступени

$$u_{\text{фт}} = \frac{z_{2\text{т}}}{z_{1\text{т}}},$$

которое проверяют по условию (2.31).

По (2.19) вычисляют $d_{1\text{т}}$, $d_{2\text{т}}$, после чего находят диаметры вершин зубьев

$$\begin{aligned} d_{a1\text{т}} &= d_{1\text{т}} + 2m_{n\text{т}}; \\ d_{a2\text{т}} &= d_{2\text{т}} + 2m_{n\text{т}}. \end{aligned} \tag{2.61}$$

Ширину венца колеса предварительно определяют по выражению

$$b_{2\text{т}} = \psi_{ba\text{т}} a_{w\text{т}} \tag{2.62}$$

и окончательно принимают ближайшее значение из ряда R_a40 номинальных линейных размеров ГОСТ 6636.

Ширину венца шестерни $b_{1\text{т}}$ принимают равной следующему за $b_{2\text{т}}$ размеру по указанному выше ряду.

2.3.5.8. Проверка тихоходной ступени на выносливость по контактным напряжениям

Действительное контактное напряжение в проектируемой передаче определяют по выражению

$$\sigma_H = \frac{6160 Z_H Z_\varepsilon}{a_{w\text{т}}} \sqrt{\frac{T_{\text{п}} (u_{\text{фт}} \pm 1)^3}{u_{\text{фт}} b_{2\text{т}}} K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{Hv}}, \text{МПа}, \tag{2.63}$$

где $Z_H = 1{,}77\cos\beta$ – коэффициент формы сопряженных поверхностей зубьев; Z_ε – коэффициент суммарной длины контактных линий; $K_{H\alpha}$ – коэффициент распределения нагрузки между зубьями (табл. 2.10); K_{Hv} – коэффициент динамической нагрузки (табл. 2.11).

Для определения Z_ε необходимо найти коэффициент осевого перекрытия

$$\varepsilon_\beta = \frac{b_{2т} \sin\beta_т}{\pi m_{nт}} \qquad (2.64)$$

и проследить, чтобы выполнялось условие $\varepsilon_\beta \geq 0{,}9$, в противном случае нагрузочная способность косозубой передачи резко снизится. Возможно, что для обеспечения выполнения этого условия в геометрию передачи придется вносить изменения.

Коэффициент Z_ε

$$Z_\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_\alpha}}, \qquad (2{,}65)$$

где ε_α – коэффициент торцевого перекрытия, определяемый по формуле (2.66):

$$\varepsilon_\alpha = \left[1{,}88 - 3{,}2\left(\frac{1}{z_1} \pm \frac{1}{z_2}\right)\right]\cos\beta. \qquad (2.66)$$

Знак плюс в круглых скобках соответствует внешнему зацеплению, минус – внутреннему зацеплению.

Коэффициент $K_{H\alpha}$ принимают по табл. 2.10 для степени точности, которую назначают в зависимости от окружной скорости зуба

$$v_п = \frac{\omega_п d_{1т}}{2000}, \text{м/с}, \qquad (2.67)$$

по рекомендациям: $v_п \leq 4$ м/с – степень точности 9; $4 < v_п \leq 10$ м/с – степень точности 8; $10 < v_п \leq 15$ м/с – степень точности 7; $15 < v_п \leq 30$ м/с – степень точности 6.

Таблица 2.10

Значения коэффициента $K_{H\alpha}$

Окружная скорость v, м/с	Степень точности			
	6	7	8	9
2,5	1,01	1,03	1,05	1,13
5,0	1,02	1,05	1,09	1,16
10	1,03	1,07	1,13	–
15	1,04	1,09	–	
20	1,05	1,12		
25	1,06	–		

Полученное значение контактного напряжения проверяют на соответствие условию

$$0,9[\sigma_H] \le \sigma_H \le 1,05[\sigma_H]. \qquad (2.68)$$

В том случае, если σ_H не входит в указанные пределы, необходимо скорректировать параметры передачи. Обычно бывает достаточно изменить размеры $b_{2т}$ и $b_{1т}$. Как правило, эти изменения невелики, и пересчета остальных размеров ступени не требуется.

Таблица 2.11

Значения K_{Hv}

Степень точности	Твердость HB_2	Окружная скорость зуба $v_п$, м/с					
		1	2	4	6	8	10
6	≤ 350	1,01	1,02	1,03	1,04	1,06	1,07
	> 350	1,00		1,02		1,03	1,04
7	≤ 350	1,01	1,02	1,04	1,06	1,07	1,08
	> 350	1,00	1,01	1,02	1,03		1,04
8	≤ 350	1,01	1,03	1,05	1,06	1,07	1,08
	> 350	1,01		1,02	1,03	1,04	1,05
9	≤ 350	1,01	1,03	1,05	–		
	> 350	1,01		1,02			

2.3.5.9. Проверка тихоходной ступени на выносливость по напряжениям изгиба

Проверку выполняют *по «слабому» звену* зубчатой передачи, у которого *меньше* отношение $\frac{[\sigma_F]}{Y_F}$, где Y_F – коэффициент формы зуба, определяемый для шестерни и колеса из табл. 2.12.

Таблица 2.12

Значения коэффициента Y_F

$z/\cos^3\beta$	Y_F	$z/\cos^3\beta$	Y_F	$z/\cos^3\beta$	Y_F	$z/\cos^3\beta$	Y_F	$z/\cos^3\beta$	Y_F
17	4,26	21	4,01	28	3,82	40	3,70	80	3,61
18	4,20	22	4,00	30	3,80	45	3,68	100	3,60
19	4,11	24	3,92	32	3,78	50	3,65	150	
20	4,08	25	3,90	37	3,71	60	3,62	рейка	3,63

Действительное напряжение изгиба в зубе «слабого» звена проектируемой передачи равно

$$\sigma_F = 2000 Y_F Y_\beta Y_\varepsilon \frac{T_n}{b_{2т} d_{1т} m_{nт}} K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{Fv}, \text{МПа}, \qquad (2.69)$$

где $Y_\beta = 1 - \frac{\beta}{140^\circ}$ – коэффициент наклона зубьев; Y_ε – коэффициент перекрытия зубьев, ориентировочно можно принять $Y_\varepsilon = 1$; $K_{F\alpha}$ – коэффициент распределения нагрузки между зубьями; $K_{F\beta}$ – коэффициент распределения нагрузки по ширине венца (см. табл. 2.13); K_{Fv} – коэффициент динамической нагрузки (см. табл. 2.14).

Значение $K_{F\alpha}$ определяют по формуле

$$K_{F\alpha} = \frac{4 + (\varepsilon_\alpha - 1)(n' - 5)}{4\varepsilon_\alpha}, \qquad (2.70)$$

где n' – степень точности передачи.

Полученное значение σ_F не должно превышать $[\sigma_F]$ «слабого» звена более чем на 5%.

Таблица 2.13

Значения коэффициента $K_{F\beta}$

Относительная ширина колеса ψ_{bd}	Шестерня расположена симметрично относительно опор		Шестерня расположена несимметрично относительно опор				Консольное расположение шестерни или колеса	
			весьма жесткий вал		менее жесткий вал			
	Твердость поверхностей зубьев HB_2							
	> 350	< 350	> 350	< 350	> 350	< 350	> 350	< 350
0,2	1,00		1,02	1,01	1,10	1,05	1,25	1,13
0,4	1,03	1,01	1,07	1,04	1,20	1,12	1,55	1,28
0,6	1,05	1,02	1,13	1,07	1,30	1,17	1,90	1,50
0,8	1,08	1,05	1,20	1,11	1,44	1,23	2,30	1,70
1,0	1,10	1,04	1,18	1,08	1,37	1,15	–	
1,2	1,13	1,05	1,25	1,10	1,50	1,18		
1,4	1,15	1,07	1,32	1,13	1,60	1,23		
1,6	1,20	1,08	1,40	1,16	–	1,28		

2.3.5.10. Проверка тихоходной ступени на статическую прочность при перегрузках

Максимальное контактное напряжение под действием пикового крутящего момента определяют по формуле

$$\sigma_{H\max} = \sigma_H \sqrt{\frac{P_{\text{дв}}}{P_{\text{тр}}}\left(\frac{T_{\max}}{T}\right)}, \qquad (2.71)$$

где $\left(\frac{T_{\max}}{T}\right)$ – заданная кратность пикового момента.

Таблица 2.14

Значения коэффициента K_{Fv}

Степень точности	Твердость HB_2	Окружная скорость зуба $v_{\text{п}}$, м/с					
		1	2	4	6	8	10
6	≤ 350	1,02	1,04	1,07	1,10	1,15	1,18
	> 350	1,01	1,02	1,03	1,04	1,06	1,07
7	≤ 350	1,03	1,06	1,11	1,16	1,22	1,27
	> 350	1,01	1,02	1,03	1,05	1,07	1,08
8	≤ 350	1,03	1,06	1,11	1,17	1,23	1,29
	> 350	1,01	1,02	1,03	1,05	1,07	1,08
9	≤ 350	1,04	1,07	1,14	–		
	> 350	1,01	1,02	1,04			

Контактная прочность при перегрузках обеспечивается, если выполняется условие: $\sigma_{H\max} \le [\sigma_{H\max}]$.

Максимальное напряжение изгиба под действием пикового крутящего момента определяют для «слабого» звена передачи по формуле

$$\sigma_{F\max} = \sigma_F \frac{P_{\text{дв}}}{P_{\text{тр}}}\left(\frac{T_{\max}}{T}\right). \qquad (2.72)$$

Изгибная прочность при перегрузках обеспечивается, если выполняется условие: $\sigma_{F\max} \le [\sigma_{F\max}]$.

2.3.5.11. Проектировочный расчет быстроходной ступени

Межосевое расстояние $a_{w\text{б}}$ определяют в зависимости от разновидности редуктора:

- в трехосном редукторе по $a_{w\text{т}}$ и табл. 2.9;

- в соосном редукторе $a_{w\text{б}} = a_{w\text{т}}$.

Геометрические параметры $m_{n\text{б}}$; $\beta_{\text{б}}$; $d_{1\text{б}}$; $d_{2\text{б}}$; $d_{a1\text{б}}$; $d_{a2\text{б}}$; $b_{2\text{б}}$; $b_{1\text{б}}$; числа зубьев $z_{1\text{б}}$ и $z_{2\text{б}}$, а также передаточное число ступени $u_{\text{фб}}$ определяют по формулам и рекомендациям, изложенным в подпункте 2.3.5.7.

В соосном редукторе значение $b_{2\text{б}}$ находят, пользуясь рекомендацией по $\psi_{ba\text{б}}$ из табл. 2.3.

Фактическое передаточное число редуктора вычисляют по выражению

$$u_{\text{ф}} = u_{\text{фб}} u_{\text{фт}} \qquad (2.73)$$

и проверяют выполнение условия (2.31).

2.3.5.12. Проверочные расчеты быстроходной ступени

Проверку быстроходной ступени на выносливость по контактным и изгибным напряжениям, а также на статическую прочность при перегрузках произ-

водят по формулам и рекомендациям, изложенным в подпунктах 2.3.5.8 – 2.3.5.10.

2.4. Конические зубчатые передачи

2.4.1. Геометрические параметры конических зубчатых передач

Наибольшее распространение получили *ортогональные* конические зубчатые передачи с углом между осями шестерни и колеса 90°.

По направлению зуба различают передачи *прямозубые* (зуб расположен по образующей конуса), *с тангенциальным зубом* (зуб расположен под углом к образующей конуса) и *с круговым зубом*.

В основном применяются передачи прямозубые и с круговым зубом, так как нагрузочная способность передач с тангенциальным зубом практически не выше, чем прямозубых.

Передачи с круговым зубом по сравнению с прямозубыми имеют, при равных нагрузках, на 15…20 % меньшие габариты, работают более плавно и способны передавать вращение с бóльшими окружными скоростями.

Недостатками передач с круговым зубом являются:

- бóльшие величины осевых сил;

- зависимость направления осевой силы от направления вращения звена.

Эти свойства делают нежелательным применение передач с круговым зубом в преобразователях движения реверсивных ММ. Как правило, их используют *при постоянном направлении вращения* выходного звена, причем направление зуба назначают так, чтобы *осевые силы* действовали *к основаниям* образующих *конусов*.

На рис. 2.8 изображен фрагмент конической зубчатой передачи и показаны ее основные геометрические параметры.

Угол Σ *между осями* шестерни и колеса является одним из таких параметров. Ниже будут рассматриваться передачи, в которых $\Sigma = 90°$.

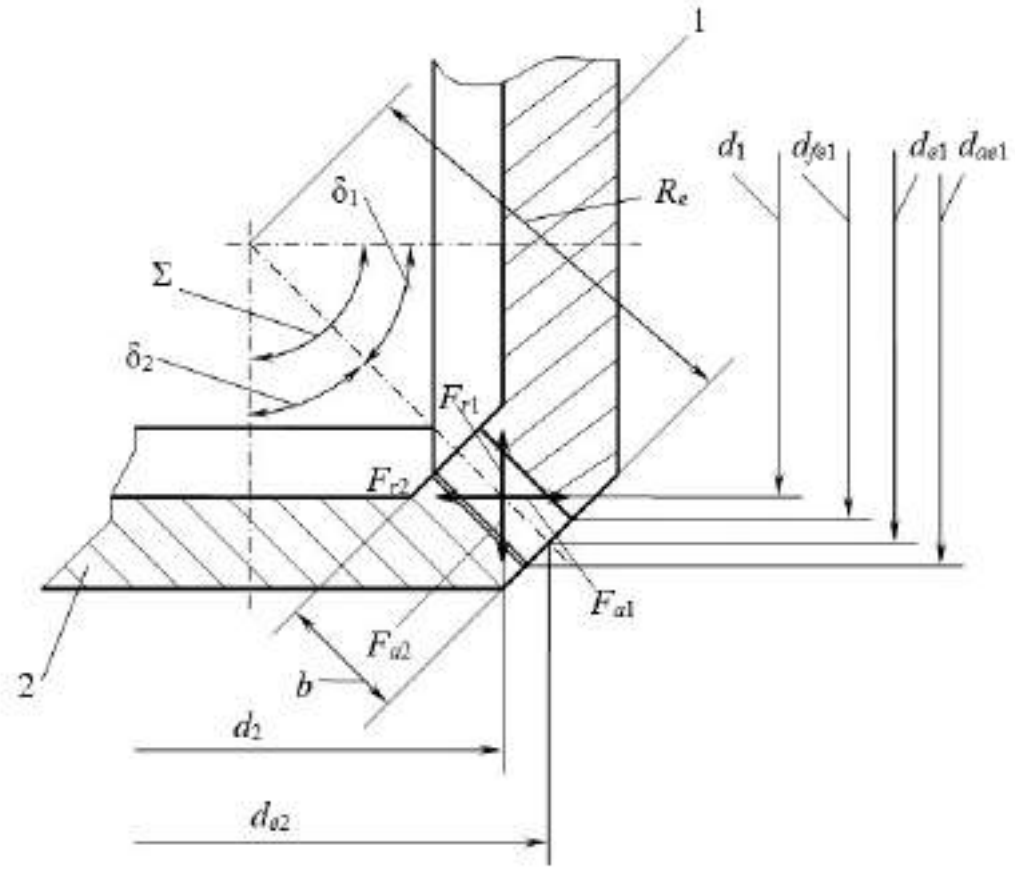


Рис. 2.8. Основные геометрические параметры конической зубчатой передачи

Внешний окружной модуль прямых зубьев обозначается m_e, круговых – m_{te}. Далее обозначения параметров передач с круговым зубом даются в скобках.

Диаметры шестерни (индекс 1) и колеса (индекс 2):

- внешние делительные

$$\begin{aligned} d_{e1} &= m_e(m_{te})z_1; \\ d_{e2} &= m_e(m_{te})z_2; \end{aligned} \qquad (2.74)$$

- внешние окружностей вершин зубьев

$$\begin{aligned} d_{ae1} &= d_{e1} + 2h_{ae1}\cos\delta_1; \\ d_{ae2} &= d_{e2} + 2h_{ae2}\cos\delta_2; \end{aligned} \qquad (2.75)$$

- внешние окружностей впадин

$$d_{fe1} = d_{e1} - 2h_{fe1}\cos\delta_1;$$
$$d_{fe2} = d_{e2} - 2h_{fe2}\cos\delta_2; \qquad (2.76)$$

В формулах (2.74) – (2.76): z_1, z_2 – числа зубьев; h_{ae1}, h_{ae2} – высота головки зуба; h_{fe1}, h_{fe2} – высота ножки зуба; δ_1, δ_2 – *углы делительных конусов*.

Величины h_{ae}, h_{fe} находят с учетом коэффициентов смещения исходного контура $x_e(x_n)$ (подробнее см. учебную литературу).

Значения δ_1, δ_2:

$$\delta_1 = \operatorname{arctg}\frac{z_1}{z_2} = \operatorname{arctg}\frac{1}{u};$$
$$\delta_2 = 90° - \delta_1. \qquad (2.77)$$

Внешнее конусное расстояние

$$R_e = 0{,}5m_e(m_{te})\sqrt{z_1^{\,2} + z_2^{\,2}} = \frac{d_{e2}}{2\sin\delta_2}. \qquad (2.78)$$

Ширину венца колеса b вычисляют по рекомендации $b = 0{,}285R_e$ и принимают ближайший размер по ряду R_a40.

В передаче с круговым зубом к основным параметрам относится также *угол наклона зуба* к образующей конуса *в среднем сечении* $\beta = 35°$ (рис. 2.9).

Средние делительные диаметры:

$$d_1 \approx 0{,}857d_{e1};$$
$$d_2 \approx 0{,}857d_{e2}. \qquad (2.79)$$

Кроме указанных выше параметров, используют также *средний окружной модуль*, определяемый в прямозубых передачах по выражению

$$m_m = \frac{d_1}{z_1} = \frac{d_2}{z_2} \approx 0,857 m_e, \tag{2.80}$$

а в передачах с круговым зубом – по выражению

$$m_{nm} \approx 0,857 m_{te} \cos\beta \approx 0,717 m_{te}, \tag{2.81}$$

и *среднее конусное расстояние*

$$R_m = R_e - 0,5b = 0,9375 R_e. \tag{2.82}$$

В передачах с круговым зубом необходимо правильно ориентировать зубья на звеньях в зависимости от направления вращения. Надлежащее расположение зуба шестерни при ее вращении по часовой стрелке показано на рис. 2.9.

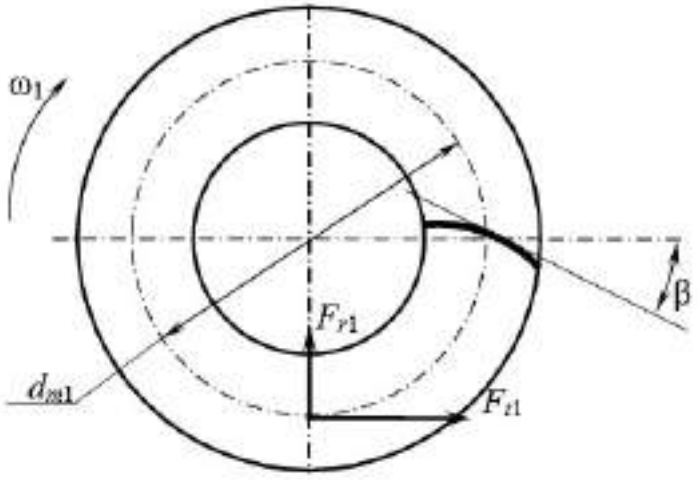


Рис. 2.9. Коническая шестерня с круговым зубом
(вид со стороны вершины конуса)

2.4.2. Силы в конической зубчатой передаче

На рис. 2.8, 2.9 показаны направления сил в конической передаче.

Окружная сила (см. рис. 2.9)

$$F_t = \frac{2T_2}{d_2}. \tag{2.83}$$

В прямозубой передаче (см. рис. 2.8):

- радиальная сила на колесе, осевая на шестерне

$$F_{r2} = F_{a1} = F_t \mathrm{tg}\alpha_w \sin\delta_1 = 0{,}364 F_t \sin\delta_1; \tag{2.84}$$

- осевая сила на колесе, радиальная на шестерне

$$F_{a2} = F_{r1} = F_t \mathrm{tg}\alpha_w \cos\delta_1 = 0{,}364 F_t \cos\delta_1. \tag{2.85}$$

В передаче с круговым зубом:

- радиальная сила на колесе, осевая на шестерне

$$F_{r2} = F_{a1} = F_t (0{,}444 \sin\delta_1 + 0{,}701 \cos\delta_1); \tag{2.86}$$

- осевая сила на колесе, радиальная на шестерне

$$F_{a2} = F_{r1} = F_t (0{,}444 \cos\delta_1 - 0{,}701 \sin\delta_1). \tag{2.87}$$

2.4.3. Методика расчета конической зубчатой передачи

2.4.3.1. Общие положения

Преобразователи движения ММ, предусматриваемых заданиями на курсовое проектирование, могут содержать коническую зубчатую передачу в виде

либо одноступенчатого редуктора, либо ступени двухступенчатого редуктора. Далее рассматривается коническая передача как быстроходная ступень коническо-цилиндрического редуктора.

Общий порядок расчета – см. подпункт 2.3.5.1.

Исходные данные для расчета – см. подпункт 2.3.5.2.

Выбор двигателя – см. подпункт 2.3.5.3.

2.4.3.2. Кинематический расчет редуктора

Расчетное передаточное число редуктора определяют по (2.30) с проверкой по условию (2.31).

Распределение найденного u по ступеням необходимо выполнять с учетом следующего.

Характерной особенностью конических зубчатых передач является технологическая сложность нарезания зубьев колес при передаточных числах бóльших пяти. Поэтому в коническо-цилиндрических редукторах принимают $u_б \leq 5$, руководствуясь рекомендациями табл. 2.15.

Таблица 2.15

Передаточные числа ступеней коническо-цилиндрических редукторов

Передаточное число ступени	Передаточное число редуктора u										
	9	10	11,2	12,5	14	16	18	20	22,4	25	≤ 28
$u_б$	3,15	3,55		4		4,5	5				
$u_т$	2,8		3,15		3,55			4	4,5	5	≤ 5,6

Для конических зубчатых передач допускается отклонение Δu = 4 % *независимо от передаточного числа* $u_б$.

Частоты вращения и угловые скорости валов определяют по (2.32) – (2.36).

2.4.3.3. Материалы шестерен и колес. Допускаемые напряжения

Материалы звеньев конической зубчатой передачи назначают аналогично цилиндрической передаче (см подпункт 2.3.5.5).

Допускаемые напряжения передачи прямозубой конической определяют так же, как прямозубой цилиндрической; передачи с круговым зубом – как косозубой цилиндрической.

Крутящие моменты на шестернях и колесах ступеней – см. подпункт 2.3.5.6.

2.4.3.4. Расчет тихоходной ступени

Проектировочный расчет тихоходной (цилиндрической) ступени – см. подпункт 2.3.5.7.

Проверочные расчеты – см. подпункты 2.3.5.8, 2.3.5.9.

2.4.3.5. Проектировочный расчет быстроходной (конической) ступени

Внешний делительный диаметр колеса равен

$$d_{e2} = 1650\sqrt[3]{\frac{u_б T_п K_{H\beta}}{\theta_H [\sigma_H]^2}}, \text{ мм}, \qquad (2.88)$$

где θ_H – коэффициент вида конических колес.

Коэффициенты $K_{H\beta}$ для передач, валы которых установлены на роликовых подшипниках, с достаточной точностью могут быть определены по аппроксимирующим формулам:

- прямозубые передачи при $HB_2 \le 350$

$$K_{H\beta} = 0,22u_б; \qquad (2.89)$$

- прямозубые передачи при $HB_2 > 350$

$$K_{H\beta} = 0,29u_б; \qquad (2.90)$$

- передачи с круговым зубом при $HB_2 > 350$

$$K_{H\beta} = 0,24u_б. \qquad (2.91)$$

В передачах с круговым зубом при $HB_2 \le 350$ $K_{H\beta} = 1$.

Значение $\theta_H = 1$ для прямозубых колес; θ_H для колес с круговым зубом – по следующим формулам:

- при $HB_1 \le 350$, $HB_2 \le 350$

$$\theta_H = 1,22 + 0,21u_б; \tag{2.92}$$

- при $HB_1 > 350$, $HB_2 \le 350$

$$\theta_H = 1,13 + 0,13u_б; \tag{2.93}$$

- при $HB_1 > 350$, $HB_2 > 350$

$$\theta_H = 0,81 + 0,15u_б. \tag{2.94}$$

Значение d_{e2} следует принять из ряда R_a40 ближайшее к полученному по (2.88).

Затем по (2.77) предварительно определяют углы δ_1 и δ_2, после чего по (2.78) находят R_e.

Точность вычисления углов – до 0,0001° (или до угловых секунд); R_e – до 0,001 мм.

Ширину зубчатого венца находят по рекомендации, данной в пункте 2.4.1.

Определяют внешний окружной модуль

$$m_e(m_{te}) = \frac{1,4 \cdot 10^4 T_п K_{F\beta}}{\theta_F d_{e2} b [\sigma_F]}, \text{мм}, \tag{2.95}$$

где $K_{F\beta} = 1$ – для прямозубых передач; $K_{F\beta} = 1,08$ – для передач с круговым зубом; θ_F – коэффициент вида конических колес.

Значение $\theta_F = 0{,}85$ для прямозубых колес; для колес с круговым зубом θ_F определяют по следующим формулам:

- при $HB_1 \le 350$, $HB_2 \le 350$

$$\theta_F = 0{,}94 + 0{,}08u_б; \tag{2.96}$$

- при $HB_1 > 350$, $HB_2 \le 350$

$$\theta_F = 0{,}85 + 0{,}04u_б; \tag{2.97}$$

- при $HB_1 > 350$, $HB_2 > 350$

$$\theta_F = 0{,}65 + 0{,}11u_б. \tag{2.98}$$

Значение модуля *до целого числа не округлять*; точность – до 0,01 мм. В силовых передачах рекомендуется принимать $m_e(m_{te}) \ge 1{,}5$ мм.

Числа зубьев:

$$z_{2б} = \frac{d_{e2}}{m_e(m_{te})}; \qquad z_{1б} = \frac{z_{2б}}{u_б}. \tag{2.99}$$

Полученные $z_{1б}$, $z_{2б}$ округлить до целых.

Фактическое передаточное число пары $u_{фб}$ найти по (2.10) и проверить на допустимость его отклонения от стандартного.

По (2.77) с использованием $u_{фб}$ уточнить углы δ_1 и δ_2.

После этого следует выбрать коэффициент смещения при нарезании зубьев шестерни $x_{e1}(x_{n1})$. При $HB_1 - HB_2 \le 100$ его принимают по табл. 2.16. В случае

отличия z_1 и $u_б$ от значений из табл. 2.16 $x_{e1}(x_{n1})$ принимают с округлением до табличных *в бóльшую сторону*. При $HB_1 > 350$, $HB_2 > 350$ $x_{e1}(x_{n1}) = 0$, при $HB_1 - HB_2 > 100$ принимают $x_{n1} = 0$.

Коэффициент смещения при нарезании зубьев колеса $x_{e2}(x_{n2}) = - x_{e1}(x_{n1})$.

В заключение проектировочного расчета по формуле (2.75) найти d_{ae1} и d_{ae2}, а по (2.79) – $d_{1б}$ и $d_{2б}$.

2.4.3.6. Проверка быстроходной ступени на выносливость по контактным напряжениям

Действительное контактное напряжение равно

$$\sigma_H = 470\sqrt{\frac{F_t\sqrt{u_{фб}{}^2+1}}{\theta_H d_{e2} b}K_{H\beta}K_{Hv}},\ \text{МПа}. \qquad (2.100)$$

Таблица 2.16

Значения коэффициентов x_{e1}, x_{n1}

z_1	x_{e1} при передаточном числе u					x_{n1} при передаточном числе u				
	2,00	2,50	3,15	4,00	5,00	2,00	2,50	3,15	4,00	5,00
12	–	0,50	0,53	0,56	0,57	0,32	0,37	0,39	0,41	0,42
13	0,44	0,48	0,52	0,54	0,55	0,30	0,35	0,37	0,39	0,40
14	0,42	0,47	0,50	0,52	0,53	0,29	0,33	0,35	0,37	0,38
15	0,40	0,45	0,48	0,50	0,51	0,27	0,31	0,33	0,35	0,36
16	0,38	0,43	0,46	0,48	0,49	0,26	0,30	0,32	0,34	0,35
18	0,36	0,40	0,43	0,45	0,46	0,24	0,27	0,30	0,32	
20	0,34	0,37	0,40	0,42	0,43	0,22	0,26	0,28	0,29	
25	0,29	0,33	0,36	0,38	0,39	0,19	0,21	0,24	0,25	
30	0,25	0,28	0,31	0,33	0,34	0,16	0,18	0,21	0,22	
40	0,20	0,22	0,24	0,26	0,27	0,11	0,14	0,16	0,17	

Коэффициент K_{Hv} для прямозубых передач определяется по табл. 2.17, а для передач с круговым зубом – по табл. 2.11 в зависимости от степени точности, которую находят по рекомендациям для цилиндрических передач и окружной скорости

$$v_п = \frac{\omega_п d_{2б}}{2000},\ \text{м/с}. \qquad (2.101)$$

Таблица 2.17

Значения коэффициента K_{Hv} для прямозубых конических передач

Степень точности	Твердость HB_2	Окружная скорость зуба $v_п$, м/с					
		1	2	4	6	8	10
6	≤ 350	1,03	1,06	1,12	1,17	1,23	1,28
	> 350	1,02	1,04	1,07	1,10	1,15	1,18
7	≤ 350	1,04	1,07	1,14	1,21	1,29	1,36
	> 350	1,03	1,05	1,09	1,14	1,19	1,24
8	≤ 350	1,04	1,08	1,16	1,24	–	
	> 350	1,03	1,06	1,10	1,16		
9	≤ 350	1,05	1,10	–			
	> 350	1,04	1,07				

Полученное значение контактного напряжения проверяют на соответствие условию (2.68). В случае невыполнения условия следует изменить размер b. Если увеличение (или уменьшение) b на два соседних размера по ряду R_a40 не дает достаточного эффекта, необходимо перейти на другой размер d_{e2} или назначить другие материалы передачи.

2.4.3.7. Проверка быстроходной ступени на выносливость по напряжениям изгиба

Напряжения изгиба в зубьях колеса и шестерни определяют по следующим формулам:

$$\sigma_{F2} = Y_{F2} Y_{\beta} \frac{F_{t\text{б}} K_{F\beta} K_{Fv}}{\theta_F b m_e (m_{te})};$$
$$\sigma_{F1} = \sigma_{F2} \frac{Y_{F1}}{Y_{F2}}, \qquad (2.102)$$

где Y_{F1}, Y_{F2} – по табл. 2.18; Y_{β} – для прямозубых передач равен единице, для передач с круговым зубом равен 0,75; K_{Fv} – для прямозубых передач – по табл. 2.19, для передач с круговым зубом – по табл. 2.14.

Полученные значения σ_{F1}, σ_{F2} не должны превышать соответствующие допускаемые напряжения более чем на 5%. При невыполнении этого условия

следует увеличить модуль и, оставив без изменения d_{e2}, пересчитать числа зубьев колеса и шестерни.

2.4.3.8. Проверочные расчеты быстроходной ступени на статическую прочность при перегрузках

Проверочные расчеты производят по формулам и рекомендациям, изложенным в подпункте 2.3.5.10.

Таблица 2.18

Значения коэффициента Y_F для конических колес

z_v	Значения $x_e(x_n)$										
	– 0,5	– 0,4	– 0,3	– 0,2	– 0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
12	–								3,90	3,67	3,46
14	–						4,24	4,00	3,78	3,59	3,42
17	–				4,50	4,27	4,03	3,83	3,67	3,53	3,40
20	–			4,55	4,28	4,07	3,89	3,75	3,61	3,50	3,39
25	–	4,60	4,39	4,20	4,04	3,90	3,77	3,67	3,57	3,46	3,39
30	4,60	4,32	4,15	4,05	3,90	3,80	3,70	3,62	3,55	3,47	3,40
40	4,12	4,02	3,92	3,84	3,77	3,70	3,64	3,58	3,53	3,48	3,42
50	3,97	3,88	3,81	3,76	3,70	3,65	3,61	3,57	3,53	3,49	3,44
60	3,85	3,79	3,73	3,70	3,66	3,63	3,59	3,56	3,53	3,50	3,46
80	3,73	3,70	3,68	3,65	3,62	3,61	3,58	3,56	3,54	3,52	3,50
100	3,68	3,67	3,65	3,62	3,61	3,60	3,58	3,57	3,55	3,53	3,52
П р и м е ч а н и е. Эквивалентные числа зубьев: $z_{v1} = z_1\cos\delta_1$; $z_{v2} = z_1\cos\delta_2$											

Таблица 2.19

Значения коэффициента K_{Fv} для прямозубых конических передач

Степень точности	Твердость HB_2	Окружная скорость зуба $v_п$, м/с					
		1	2	4	6	8	10
6	≤ 350	1,05	1,06	1,12	1,17	1,20	1,25
	> 350	1,02	1,04	1,08	1,11	1,14	1,17
7	≤ 350	1,08	1,16	1,33	1,50	1,67	1,80
	> 350	1,03	1,05	1,09	1,13	1,17	1,22
8	≤ 350	1,10	1,20	1,38	1,58	1,78	1,96
	> 350	1,04	1,06	1,12	1,16	1,21	1,26
9	≤ 350	1,13	1,28	1,50	–		
	> 350	1,04	1,07	1,14			

2.5. Червячные передачи

2.5.1. Геометрические параметры червячных передач

Червячные передачи предназначены для преобразования вращательного движения между двумя *скрещивающимися осями* (межосевой угол в плане обычно равен 90°).

Различают передачи *с цилиндрическим червяком* (архимедовым, конволютным, эвольвентным) и *с глобоидным червяком*. Более высокой нагрузочной способностью обладают передачи с глобоидным червяком, однако они значительно сложнее в изготовлении, поэтому используются только в обоснованных случаях. В основном же в ММ применяют передачи с цилиндрическим червяком (рис. 2.10), из которых, в свою очередь, наибольшее распространение получили преобразователи движения с *архимедовым червяком*. Архимедов червяк в сечении, проходящем через продольную ось, выглядит как зубчатая рейка (рис. рис. 2.11).

Фактическое передаточное число червячной передачи (т.е. передаточное отношение от червяка к червячному колесу) равно

$$u_{\text{ф}} = \frac{z_2}{z_1}, \qquad (2.103)$$

где z_1 – *число витков червяка*.

Стандартные значения z_1: 1; 2; 4. В обоснованных случаях в преобразователях движения ММ могут быть заданы и другие числа витков.

Обычно u лежит в пределах 8…80, но в отдельных случаях может значительно превышать верхнее значение.

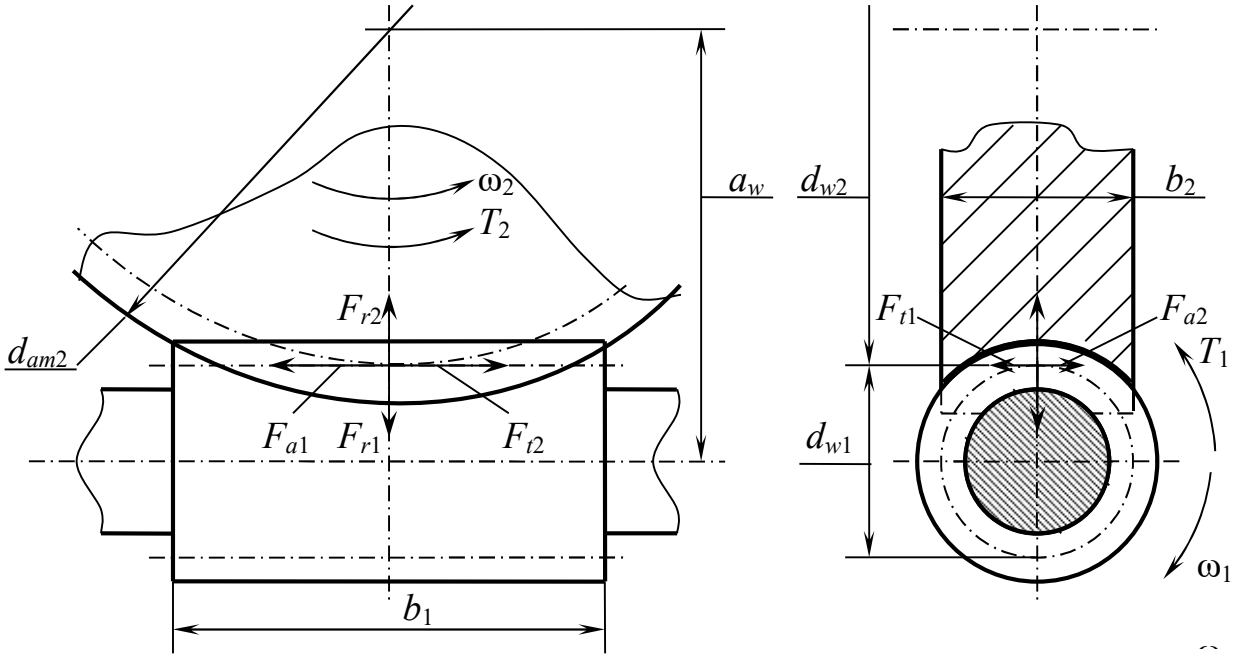


Рис. 2.10. Схема червячной передачи с цилиндрическим червяком

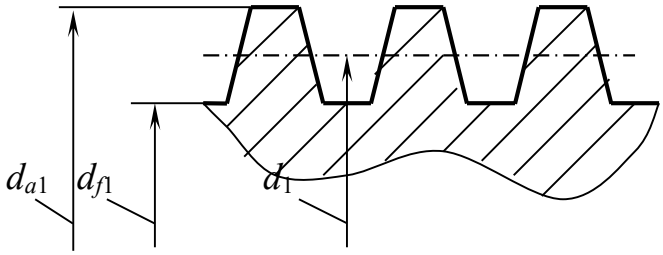


Рис. 2.11. Осевое сечение витков архимедова червяка

Диаметр делительной окружности червяка (рис. 2.11)

$$d_1 = qm, \tag{2.104}$$

где q – *коэффициент диаметра*, принимается из стандартного ряда.

Модуль m также стандартизован. Ряды значений q и m даны в п. 2.5.4.

Межосевое расстояние a_w (рис. 2.10) определяют по выражению

$$a_w = 0,5m(q + z_2 + 2x), \tag{2.105}$$

где x – коэффициент смещения, его величина находится в пределах: $-1 \le x \le 1$.

Диаметр вершин витков d_{a1} и диаметр впадин d_{f1} червяка:

$$d_{a1} = (q + 2)m; \tag{2.106}$$

$$d_{f1} = (q - 2,4)m. \tag{2.107}$$

Диаметр делительной окружности колеса

$$d_2 = mz_2;$$

диаметр вершин зубьев d_{a2} и диаметр впадин d_{f2} колеса:

$$d_{a2} = d_2 + 2(1 + x)m; \tag{2.108}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2(1,2 - x)m; \tag{2.109}$$

наибольший диаметр колеса

$$d_{am2} = d_{a2} + \frac{6m}{z_1 + 2}. \tag{2.110}$$

Диаметр начальной окружности червяка вычисляют по формуле

$$d_{w1} = (q + 2x)m; \tag{2.111}$$

диаметр начальной окружности колеса $d_{w2} = d_2$.

Длина нарезаемой части червяка

$$b_1 = (10 + 5,5|x| + z_1)m + C, \tag{2.112}$$

где значение $C = 0$ при $x \le 0$; при $x > 0$

$$C = \frac{100\,m}{z_2}\,. \qquad (2.113)$$

Ширина венца колеса:

- при $z_1 = 1$; $z_1 = 2$

$$b_2 = 0,355 a_w; \qquad (2.114)$$

- при $z_1 = 4$

$$b_2 = 0,315 a_w. \qquad (2.115)$$

2.5.2. Силы в червячной передаче

Силу нормального давления на зуб колеса *в передаче с архимедовым червяком* (по аналогии с косозубой цилиндрической передачей) можно представить в виде геометрической суммы трех составляющих (рис. 2.10):

- окружной силы

$$F_{t2} = \frac{2T_2}{d_2};$$

- радиальной силы

$$F_{r2} = F_{t2}\mathrm{tg}\alpha_w = 0,364 F_{t2}; \qquad (2.116)$$

- осевой силы

$$F_{a2} = F_{t1}, \qquad (2.117)$$

где T_2 – крутящий момент на колесе; $\alpha_w = 20°$ – угол зацепления; F_{t1} – окружная сила на червяке:

$$F_{t1} = \frac{2T_1}{d_1}; \qquad (2.118)$$

T_1 – крутящий момент на червяке.

Кроме окружной, на червяк действуют радиальная $F_{r1} = F_{r2}$ и осевая $F_{a1} = F_{t2}$ силы.

КПД червячной пары определяют по формуле

$$\eta_ч = \frac{\mathrm{tg}\gamma}{\mathrm{tg}(\gamma + \varphi')}, \qquad (2.119)$$

где $\gamma = \mathrm{arctg}\frac{z_1}{q}$ – *угол подъема витка* червяка; φ' – угол трения (см. п. 2.5.4).

2.5.3. Материалы червячных передач

Червяки передач малой и средней мощности, работающих с большими перерывами и редко испытывающих перегрузки, выполняют из сталей марок 40Х, 35ХМ, 40ХН. Витки таких червяков упрочняют закалкой с нагревом ТВЧ до 45…50*HRC*. Поверхности витков шлифуют.

Червяки тяжело нагруженных ответственных передач выполняют цементованными с закалкой до 56…63*HRC* с последующей шлифовкой и полировкой витков. Часто используются недорогие цементуемые стали, например, сталь 18ХГТ.

Материалы венцов червячных колес приведены в табл. 2.20. Группа материала назначается по табл. 2.21 в зависимости от *скорости скольжения*

$$v_s = 4 \cdot 10^{-4} n_1 \sqrt[3]{T_2}, \text{м/с}, \qquad (2.120)$$

где n_1 – частота вращения червяка, об/мин.

Материалы III группы в преобразователях движения ММ применяются редко, поэтому далее рассматриваться не будут.

Таблица 2.20

Материалы венцов червячных колес

Группа	Марка материала	Способ отливки	Механические свойства, МПа	
			$\sigma_в$	$\sigma_т$
Iа	БрО10Н1Ф1	Ц	285	165
	БрО10Ф1	К	275	200
		З	230	140
Iб	БрО5Ц5С5	К	200	90
		З	145	80
IIа	БрА10Ж4Н4	Ц	700	460
		К	650	430
	БрА103Мц1,5	К	550	360
		З	450	300
	БрФ9Ж3Л	Ц	530	245
		К	500	230
		З	425	195
IIб	ЛЦ23А6Ж3Мц2	Ц	500	330
		К	450	295
		З	400	260
III	СЧ18	З	355	-
	СЧ15	З	315	-
П р и м е ч а н и е. Способы отливки: Ц – центробежный; К – в кокиль; З – в землю				

2.5.4. Методика расчета червячной передачи

2.5.4.1. Общие положения

Преобразователи движения ММ, предусматриваемых заданиями на курсовое проектирование, могут содержать червячную передачу в виде либо одноступенчатого редуктора, либо ступени двухступенчатого редуктора. Далее рассматривается одноступенчатый червячный редуктор.

Общий порядок расчета – см. подпункт 2.3.5.1.

Исходные данные для расчета – см. подпункт 2.3.5.2.

Выбор двигателя – см. подпункт 2.3.5.3, причем требуемую номинальную мощность двигателя вычисляют по формуле

$$P_{\text{тр}} = \frac{T_2 n_2}{\eta_{\text{ч}} \eta_{\text{п}}^{\,2}}, \qquad (2.121)$$

где $\eta_{\text{ч}}$ предварительно принимают равным 0,8.

2.5.4.2. Кинематический расчет передачи

Расчетное передаточное число редуктора определяют по (2.30) с проверкой по условию (2.31). В качестве $n_{\text{т}}$ используют n_2. Допускаемое отклонение Δu = 4%.

Таблица 2.21

Выбор группы материалов венцов червячных колес

Характеристика передачи	Скорость скольжения v_s, м/с			
	до 2	2…3	3…4	более 4
Слабо нагруженная, режим работы легкий	III	IIб	-	
Средне и тяжело нагруженные, режимы работы средний и тяжелый	IIб	IIа	Iб	Iа
Тяжело нагруженная, режим работы весьма тяжелый	IIа	Iб	Iа	

Определяют z_1 по рекомендации: при $u \geq 31{,}5$ $z_1 = 1$; при $u = 16…28$ $z_1 = 2$; при $u = 8…14$ $z_1 = 4$.

Определяют z_2 по формуле

$$z_2 = \frac{n_{\text{дв}}}{z_1} = \frac{n_1}{z_1} \qquad (2.122)$$

с округлением до целого числа, после чего по (2.103) находят $u_{\text{ф}}$ и снова проверяют выполнение условия (2.31). В случае его невыполнения z_2 изменяют на один зуб в бóльшую или меньшую сторону.

Вычисляют частоты вращения и угловые скорости червяка и червячного колеса.

2.5.4.3. Материалы червяка и колеса. Допускаемые напряжения

По (2.127) определяют ориентировочное значение скорости скольжения, по табл. 2.21 – группу материала, а по табл. 2.20 – марку материала венца колеса.

По рекомендациям п. 2.5.3 принимают марку стали и термообработку витков червяка.

Вычисляют коэффициенты долговечности:

$$K_{HL} = \sqrt[8]{\frac{10^7}{N_{HE}}}; \qquad (2.123)$$

$$K_{FL} = \sqrt[9]{\frac{10^6}{N_{FE}}}. \qquad (2.124)$$

В формулах (2.123), (2.124) при $N_{HE} > 25 \cdot 10^7$ принимают $N_{HE} = 25 \cdot 10^7$, при $N_{FE} > 25 \cdot 10^7$ принимают $N_{FE} = 25 \cdot 10^7$, при $N_{FE} < 10^6$ принимают $N_{FE} = 10^6$.

По табл. 2.22 принимают коэффициент износа материала C_v, по табл. 2.23 устанавливают формулы и находят допускаемые напряжения для червячного колеса.

Таблица 2.22

Значения коэффициента износа материала

v_s, м/с	1	2	3	4	5	6	7	≥ 8
C_v	1,33	1,21	1,11	1,02	0,95	0,88	0,83	0,8

Таблица 2.23

Допускаемые напряжения для червячного колеса

Группа материалов	Червяк < 45HRC	Червяк ≥ 45HRC	Нереверсивная передача	Реверсивная передача
	$[\sigma]_H$, Н /мм^2		$[\sigma]_F$, Н /мм^2	
I	$K_{HL}C_v0{,}75\sigma_в$	$K_{HL}C_v0{,}9\sigma_в$	$(0{,}08\sigma_в+0{,}25\sigma_т)K_{FL}$	$0{,}16\sigma_в K_{FL}$
II	$250 – 25v_s$	$300 – 25v_s$		

2.5.4.4. Проектировочный расчет передачи

Межосевое расстояние определяют по формуле

$$a_w = 610\sqrt[3]{\frac{T_2}{[\sigma_H]^2}}. \qquad (2.125)$$

где T_2 – в ньютонометрах.

Полученное значение a_w округляют до ближайшего по ряду R_a 20.

Определяют модуль зацепления

$$m = (1,5...1,7)\frac{a_w}{z_2}, \text{ мм}, \qquad (2.126)$$

и принимают ближайшее стандартное значение из первого ряда: 2,50; 3,15; 4,00; 5,00; 6,30; 8,00; 10,00; 12,50; 16,00. Допускается также использование второго ряда: 3,00; 3,50; 6,00; 7,00; 12,00.

Коэффициент диаметра определяют по рекомендации

$$q = (0,212...0,250)z_2. \qquad (2.127)$$

Полученную величину округляют до стандартной из первого ряда: 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0 или из второго ряда: 7,1; 9,0; 11,2; 14,0; 18,0. По ГОСТ 19672-74 допускается также применение значений q: 7,5 и 12,0.

Коэффициент смещения нарезающего инструмента находят из выражения

$$x = \frac{a_w}{m} - 0,5(q + z_2) \qquad (2.128)$$

с проверкой на соответствие критерию из п. 5.2.1.

По (2.105) определяют фактическое межосевое расстояние.

Вычисляют основные геометрические размеры звеньев передачи по формулам (2.106) – (2.115).

Кроме того, находят делительный угол подъема витков

$$\gamma = \operatorname{arctg}\frac{z_1}{q}. \qquad (2.129)$$

2.5.4.5. Проверочные расчеты

Уточняют КПД передачи по формуле (2.119), причем угол трения φ′ принимают по табл. 2.24 в зависимости от фактической скорости скольжения

$$v_{s\phi} = \frac{u_\phi \omega_2 d_1}{2000\cos\gamma}, \text{ м/с.} \qquad (2.130)$$

Таблица 2.24

Значения угла трения

$v_{s\phi}$	0,1	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	7	10	15
φ′	4°30′… …5°10′	3°10′… …3°40′	2°30′… …3°10′	2°20′… …2°50′	2°00′… …2°30′	1°40′… …2°20′	1°30′… …2°00′	1°20′… …1°40′	1°00′… …1°30′	0°55′… …1°20′	0°50′… …1°10′
П р и м е ч а н и е. Меньшие значения φ′ – для материалов группы I, бóльшие – для материалов групп II и III.											

В том случае, если получается $\eta_\phi < 0{,}8$, следует заново подсчитать требуемую мощность электродвигателя и при необходимости назначить двигатель более мощный.

Уточняют значение $[\sigma]_H$ по фактической скорости скольжения и формулам из табл. 2.23.

Контактное напряжение в зацеплении сравнивают с допускаемым:

$$\sigma_H = 340\sqrt{\frac{F_{t2}K}{d_1 d_2}} \le [\sigma]_H, \qquad (2.131)$$

где K – коэффициент нагрузки (принимается в зависимости от окружной скорости колеса (формула (2.139)): при $v_2 \le 3$ м/с $K = 1$; при $v_2 > 3$ м/с $K = 1{,}1\ldots1{,}3$.

Скорость v_2 определяют по формуле

$$v_2 = \frac{\omega_2 d_2}{2000}, \text{ м/с.} \qquad (2.132)$$

Допускаемая недогрузка передачи 15 %, допускаемая перегрузка 5 %.

Напряжение изгиба в зубе колеса сравнивают с допускаемым:

$$\sigma_F = 0{,}7\frac{Y_{F2}F_{t2}K}{b_2 m} \le [\sigma]_F, \qquad (2.133)$$

где Y_{F2} – коэффициент формы зуба колеса, принимается по табл. 2.25 в зависимости от эквивалентного числа зубьев $z_{v2} = z_2/\cos^3\gamma$.

Таблица 2.25

Коэффициент формы зуба червячного колеса

z_{v2}	Y_{F2}	z_{v2}	Y_{F2}	z_{v2}	Y_{F2}	z_{v2}	Y_{F2}
20	1,98	30	1,76	40	1,55	80	1,34
24	1,88	32	1,71	45	1,48	100	1,30
26	1,85	35	1,64	50	1,45	150	1,27
28	1,80	37	1,61	60	1,40	300	1,24

Как правило, получается $\sigma_F << [\sigma]_F$, так как нагрузочная способность червячных передач ограничивается не изгибной, а контактной выносливостью.

Выполняют проверку (тепловой расчет) редуктора на нагрев. Цель проверки – определить температуру масла в редукторе, которая не должна превышать допускаемую $[t]_м = 80\ldots95$ °С.

Температуру масла в корпусе червячной передачи при непрерывной работе находят по формуле

$$t_{\text{м}} = t_{\text{в}} + \frac{P_1(1-\eta_{\text{ф}})}{K_t A}, \qquad (2.134)$$

где $t_{\text{в}}$ – температура окружающего воздуха, принимают $t_{\text{в}} = 20$ °С; P_1 – мощность на червяке, Вт; K_t – коэффициент теплопередачи (среднее значение коэффициента K_t = 13 Вт/(м^2·град)); A – площадь теплоотдающей поверхности корпуса (табл. 2.26), м^2.

Таблица 2.26

Площадь теплоотдающей поверхности корпуса червячного редуктора, м^2

Межосевое расстояние, мм	80	100	125	140	160	180	200	224
Площадь A	0,19	0,24	0,36	0,43	0,56	0,67	0,8	1

При невыполнении условия $t_{\text{м}} \le [t]_{\text{м}}$ следует увеличить с помощью оребрения площадь поверхности теплоотдачи. Если этой меры недостаточно, то необходимо предусмотреть специальные средства охлаждения (обдув корпуса вентилятором, введение в конструкцию холодильника для масла).

2.6. Планетарные зубчатые передачи

2.6.1. Общие сведения о планетарных передачах

Конструкции планетарных передач весьма многообразны. Простейшая планетарная передача (рис. 2.12) состоит из центрального *солнечного* зубчатого колеса 1 с наружными зубьями, центрального *корончатого* зубчатого колеса 3 с внутренними зубьями, *сателлитов* 2 с внешними зубьями, которые входят в зацепление одновременно с солнечным и корончатым колесами, и *водила H*, на котором расположены оси сателлитов.

При закрепленном корончатом колесе 3 ($\omega_3 = 0$) вращение солнечного колеса с угловой скоростью ω_1 вызывает вращение сателлитов относительно собственных осей с угловой скоростью ω_2, что вызывает качение сателлитов по

корончатому колесу и приводит к их перемещению по круговой орбите радиуса R_H, а следовательно, и водила H с угловой скоростью ω_H.

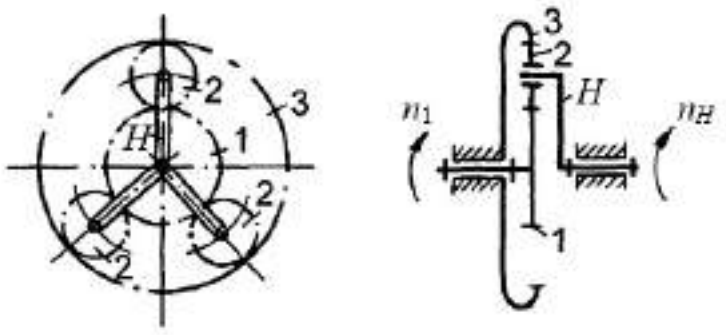


Рис. 2.12. Планетарная передача схемы 2*K*-*H*

Сателлиты вращаются относительно водила со скоростью $\omega_2^H = \omega_2 - \omega_H$ и вместе с водилом совершают переносное движение. Их движения напоминают движения планет, поэтому передачу и называют планетарной.

Основными звеньями планетарной передачи являются те, которые воспринимают внешние моменты. Такими звеньями являются солнечные и корончатые колеса, т. е. два центральных колеса (2*K*) и водило *H*. Сокращенное обозначение такого планетарного механизма 2*K*-*H*.

Планетарный механизм 2*K*-*H* наиболее часто используется в ММ, так как имеет высокий КПД и технологичную конструкцию. Поэтому ниже будет дана методика расчета именно этой схемы.

Подробно и полно планетарные передачи рассмотрены в специальной литературе. Здесь же следует сказать о весьма перспективной конструкции – так называемом эксцентриково-планетарном механизме, вариант которого – *механизм с параллельными кривошипами* – приведен на рис. 2.13.

Планетарный механизм *K*-*H*-*V* имеет три основных звена: центральное колесо 2, водило *H* и вал *V*. Водило представляет собой эксцентрик, на котором установлен сателлит 1. Сателлит передает вращение на вал *V* кривошипами 3 – эксцентриками, эксцентриситет которых равен эксцентриситету водила.

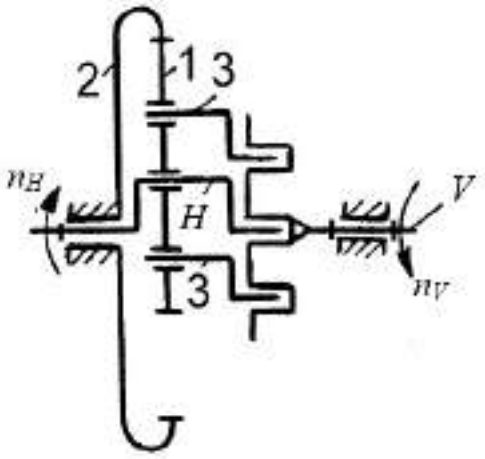


Рис. 2.13. Планетарный механизм с параллельными кривошипами (схема *K-H-V*)

За один оборот водила сателлит, совершая сложное плоское движение, поворачивается относительно своей оси на угол, соответствующий разности чисел зубьев центрального колеса и сателлита, в направлении, противоположном направлению вращения водила, т. е. передаточное число такого преобразователя движения равно

$$u_{H-V}^{(2)} = -\frac{z_2}{z_2 - z_1}. \qquad (2.135)$$

Для предотвращения заклинивания зубьев в зацеплении должно выполняться условие

$$z_2 - z_1 \geq \begin{cases} 8 \ \text{ при } \ h_a^* = 1; \\ 7 \ \text{ при } \ h_a^* = 0,8, \end{cases} \qquad (2.136)$$

где h_a^* – высота головки зуба.

Очевидно, что при достаточно больших числах зубьев звеньев этой пары одна ступень передачи *K-H-V* может по передаточному числу заменить двухступенчатый цилиндрический редуктор.

Дальнейшие исследования в направлении уменьшения размеров и повышения технологичности изготовления передачи привели к появлению так называемого *планетарно-цевочного редуктора* (рис. 2.14), в котором вместо эвольвентного зацепления применяют цевочное.

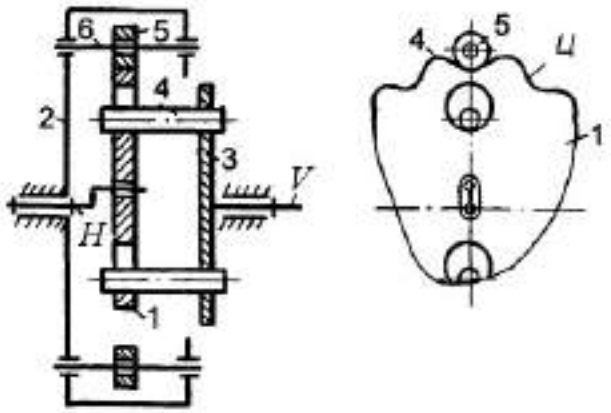


Рис. 2.14. Планетарно-цевочный редуктор схемы *K-H-V*

Сателлит 1 имеет зубья, выполненные по циклоиде (Ц), и смонтирован на водиле *H*. Центральное колесо 2 содержит оси 6 с установленными на них с возможностью вращения цевками 5, взаимодействующими с зубьями сателлита. Выходной вал *V* соединен с диском 3, в отверстия которого с натягом вставлены пальцы 4, входящие в отверстия сателлита. Пальцы, контактируя со стенками отверстий, выполняют функцию параллельных кривошипов в схеме по рис. 2.13.

Далее будет рассмотрена планетарная передача, показанная на рис. 2.12.

2.6.2. Передаточное число и условия существования планетарного механизма

Передаточное число передачи 2*K-H* равно

$$u_{1H}^{(3)} = 1 + \frac{z_3}{z_1}, \tag{2.137}$$

где $u_{1H}^{(3)}$ – передаточное число от солнечного колеса к водилу при неподвижном солнечном колесе.

При проектировании следует учитывать, что передаточное число данного механизма не должно превышать 8, в крайнем случае – 9. При необходимости обеспечения большего передаточного числа преобразователь движения выполняют многоступенчатым, причем каждая ступень представляет собой передачу по рис. 2.12.

Числа зубьев колес выбирают так, чтобы отсутствовали подрезание и заклинивание зубьев. Для этого число зубьев солнечного колеса должно удовлетворять следующим рекомендациям: $z_1 \geq 24$ при выполнении солнечного колеса из стали нормализованной и улучшенной твердостью $HB \leq 350$; $z_1 \geq 21$ – из стали закаленной ТВЧ твердостью $HRC \leq 52$; $z_1 \geq 18$ – из стали цементованной твердостью $HRC \geq 52$. Минимальное число зубьев корончатого колеса

$$z_{2\min} \geq \begin{cases} 85 \text{ при } h_a^* = 1; \\ 58 \text{ при } h_a^* = 0{,}8. \end{cases} \qquad (2.138)$$

Для существования планетарного механизма необходимо, чтобы числа зубьев соответствовали условиям сборки, соосности и соседства сателлитов.

Из *условия соосности* следует, что число зубьев сателлита должно соответствовать равенству

$$z_2 = \frac{z_3 - z_1}{2}. \qquad (2.139)$$

По *условию сборки* необходимо, чтобы выполнялось равенство

$$\frac{z_3 + z_1}{C} = \gamma, \qquad (2.140)$$

где C – число сателлитов (обычно $C = 3$); γ – целое число.

Условие соседства сателлитов выглядит следующим образом:

$$z_2 + 2 \le (z_1 + z_2)\sin\frac{\pi}{C}. \qquad (2.141)$$

Следует также иметь в виду, что числа зубьев колес z_1 и z_3 должны быть или *оба четные*, или *оба нечетные*.

2.6.3. Материалы планетарных передач

Для изготовления звеньев планетарных передач используют те же марки сталей и методы термообработки, что и для цилиндрических зубчатых передач, с учетом следующих рекомендаций.

Так как зуб солнечного колеса более часто входит в зацепление, чем зуб сателлита, то при твердости зубьев сателлита $HB \le 350$ твердость зубьев солнечного колеса назначают на 50...70 единиц выше, чем сателлита. При твердости зубьев сателлита $HB > 350$ твердости солнечного колеса и сателлита назначают одинаковыми.

Для изготовления водил используют углеродистые стали. Корпуса планетарных передач ММ обычно изготовляют из легких материалов и сплавов.

2.6.4. Методика расчета планетарной передачи

2.6.4.1. Общие положения

Исходные данные для расчета – см. подпункт 2.3.5.2.

Выбор двигателя – см. подпункт 2.3.5.3.

2.6.4.2. Кинематический расчет передачи

Цель кинематического расчета – определение чисел зубьев солнечного и корончатого колес и сателлита, обеспечивающих требуемое передаточное число, а также число сателлитов.

Находят расчетное передаточное число

$$u_{1H\text{р}}^{(3)} = \frac{n_1}{n_H}, \qquad (2.142)$$

где n_H – заданная частота вращения водила.

Определение чисел зубьев колес планетарных передач производят обычно методом подбора, задаваясь числом зубьев солнечного колеса по рекомендациям п. 2.6.2 и обеспечивая при этом правильность зацепления.

Задавшись z_1, предварительно находят z_3 по формуле

$$z_3 = z_1\left(u_{1H\text{р}}^{(3)} - 1\right). \qquad (2.143)$$

Затем из условия соосности вычисляют число зубьев сателлита z_2 и проверяют выполнение условий сборки и соседства сателлитов. При невыполнении какого-либо из условий изменяют числа зубьев колес на ± 1...3 зуба и добиваются выполнения условия.

После определения чисел зубьев находят фактическое передаточное число

$$u_{\text{ф}} = 1 + \frac{z_3}{z_1}. \qquad (2.144)$$

Вычисляют отклонение фактического передаточного числа от расчетного. Допускаемое отклонение передаточного отношения обычно принимают равным 4 %.

При невыполнении этого условия необходимо число z_1 уменьшить, снова найти числа z_2 и z_3, после чего провести проверку механизма по условиям соосности, сборки и соседства сателлитов.

2.6.4.3. Материалы и допускаемые напряжения

Материалы звеньев передачи назначают с учетом рекомендаций, приведенных в п. 2.6.3.

Допускаемые напряжения в парах центральное колесо – сателлит и сателлит – корончатое колесо определяют так же, как в цилиндрических зубчатых передачах.

2.6.4.4. Проектировочный расчет передачи

Межосевое расстояние пары солнечное колесо – сателлит

$$a_w = K_a \left(u + 1\right) \sqrt[3]{\frac{T_1 K_{H\beta} K_{\text{C}}}{[\sigma]_H^2 u^2 C \psi_{ba}}}, \text{ мм}, \qquad (2.145)$$

где u – передаточное число пары солнечное колесо – сателлит (отношение чисел зубьев большего колеса к числу зубьев меньшего); T_1 – вращающий момент на солнечном колесе, Нм; K_{C} – коэффициент неравномерности распределения нагрузки между сателлитами (при наличии механизма выравнивания нагрузки K_{C} = = 1,1...1,2; при отсутствии – K_{C} = 1,5...2,0); C – число сателлитов; ψ_{ba} – коэффициент ширины зубчатого венца сателлита.

Коэффициент ψ_{ba}:

$$\psi_{ba} = \frac{b_C}{a_w}, \qquad (2.146)$$

где b_{C} – ширина венца сателлита.

Значение ψ_{ba} принимают из ряда стандартных значений: 0,100; 0,105; 0,160; 0,200; 0,250; 0,315; 0,400; 0,500; 0,630; 0,800 (желательно принимать ψ_{ba} = 0,400 для материалов колес твердостью НВ ≤ 350; ψ_{ba} = 0,315 при твердости HRC ≤ 50; ψ_{ba} = 0,250 при твердости HRC > 50).

Затем находят делительный диаметр меньшего из колес пары солнечное колесо – сателлит. Пусть меньшее – сателлит, тогда

$$d_{\text{C}} = \frac{2a_w}{u+1}. \qquad (2.147)$$

Определяют модуль зубьев

$$m = \frac{d_1}{z_1} = \frac{d_C}{z_C}. \qquad (2.148)$$

Полученное значение модуля округляют до стандартного, уточняют значения делительных диаметров солнечного колеса, сателлита, корончатого колеса, а также межосевого расстояния.

Затем по приведенным выше формулам вычисляют диаметры окружностей вершин и впадин зубьев всех колес передачи.

Определяют окружную скорость солнечного колеса и по ее величине назначают степень точности планетарной передачи по аналогии с цилиндрической зубчатой передачей.

Для ММ рекомендуют 6 или 7 степени точности планетарных передач.

2.6.4.5. Проверочные расчеты

Проверку зубьев в паре солнечное колесо – сателлит на выносливость по контактным напряжениям производят в соответствии с формулой

$$\sigma_H = 22,4 Z_H Z_M Z_\varepsilon \sqrt{\frac{T_1 (u+1)^3 K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{Hv}}{b_C u C}} \le [\sigma]_H, \qquad (2.149)$$

где коэффициенты Z_M, Z_H, Z_ε определяют так же, как при расчете цилиндрической зубчатой передачи.

При невыполнении условия (2.149) в расчет следует ввести поправку путем изменения ширины венца сателлита.

Проверку зубьев пары солнечное колесо – сателлит на выносливость по напряжениям изгиба производят для того колеса, чье отношение $\frac{[\sigma]_F}{Y_F}$ меньше, по аналогии с цилиндрическими зубчатыми передачами.

Допустимые отклонения фактических напряжений от допускаемых те же, что и для цилиндрических зубчатых передач.

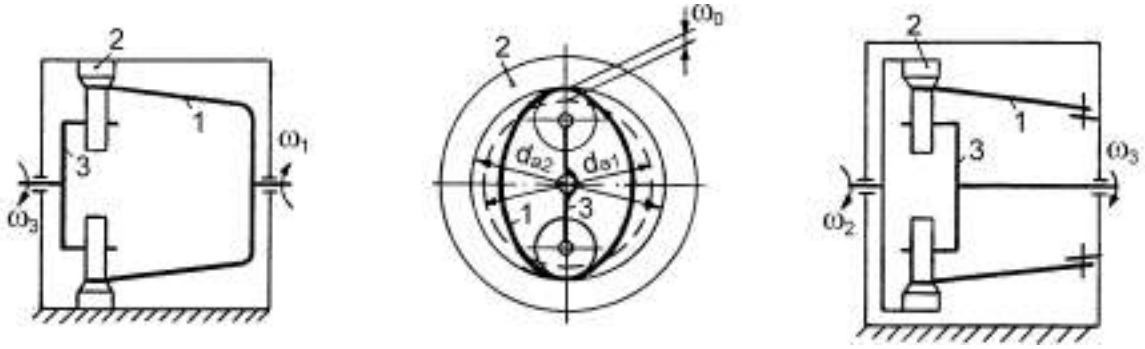
Проверочный расчет зубьев колес планетарной передачи при перегрузках аналогичен такому же расчету цилиндрической зубчатой передачи.

2.7. Волновые зубчатые передачи

2.7.1. Общие сведения

Конструкция волновой зубчатой передачи поясняется рис. 2.15. По своей сути она представляет собой планетарную передачу, у которой одно из колес выполнено в виде *гибкого венца*.

Волновая зубчатая передача состоит из *гибкого колеса* 1 с наружными зубьями, *жёсткого колеса* 2 с внутренними зубьями и *генераторам волн* 3.



а *б*

Рис. 2.15. Схема волновой зубчатой передачи

Наружный диаметр d_{a1} гибкого колеса в недеформированном состоянии меньше внутреннего диаметра d_{a2} жёсткого колеса на величину

$$d_{a2} - d_{a1} = 2\omega_0, \qquad (2.150)$$

где ω_0 – размер, показанный на рис. 2.15.

Возможны исполнения передачи с ведомым гибким колесом (рис. 2.15, *а*) и с ведомым жестким колесом (рис. 2.15, *б*).

О конструкции гибкого колеса будет сказано ниже.

Используются генераторы волн двух типов – кулачковый и дисковый.

Кулачковый генератор волн (рис. 2.16) содержит кулачок 1, рабочая поверхность которого спрофилирована по эллипсу, и размещенный на нем гибкий шариковый подшипник 2.

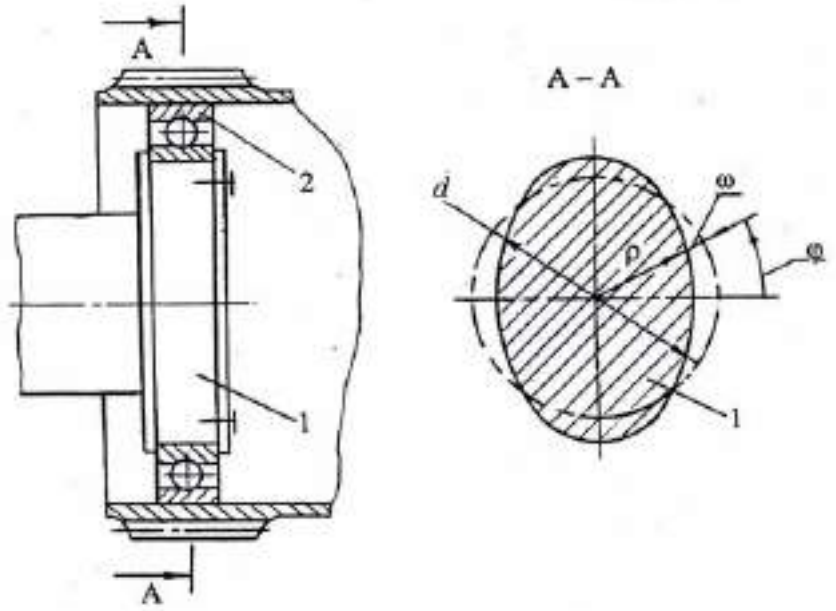


Рис. 2.16. Кулачковый генератор волн

Параметры гибких подшипников указаны в табл. 2.27.

Дисковый генератор волн (рис. 2.17) содержит диски 1 и 2, расположенные относительно быстроходного вала 3 с эксцентриситетом *е* посредством шариковых подшипников.

Диапазон передаточных чисел волновых зубчатых передач: $80 \le u \le 400$.

Вследствие многопарности зацепления для этих передач характерна весьма высокая кинематическая точность. При сравнительно малых габаритах и массе волновые передачи способны создавать на выходном звене вращаю-

щие моменты до 150 кНм. На волновом принципе основаны механизмы для передачи вращения в герметично закрытое пространство.

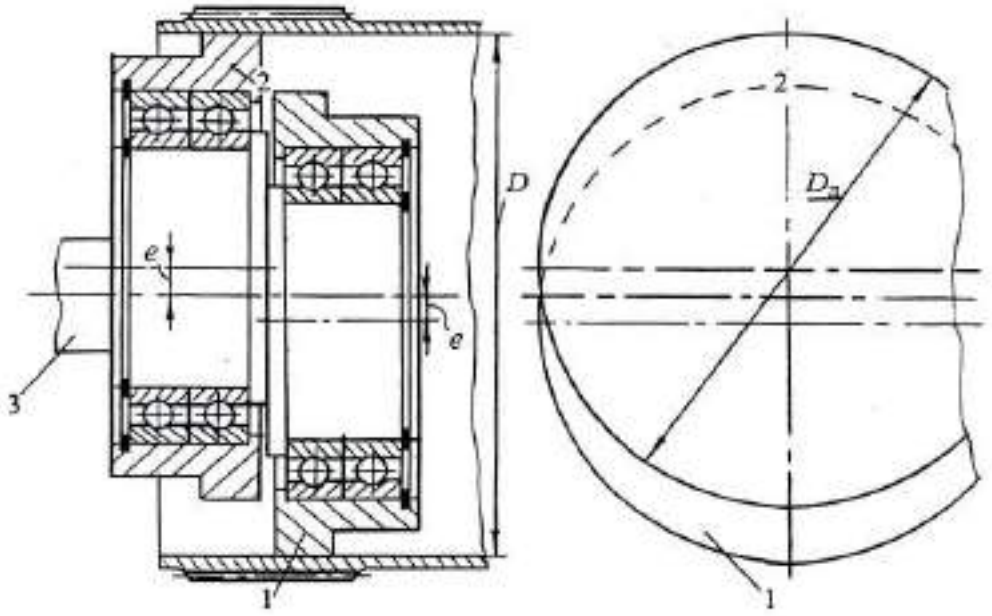


Рис. 2.17. Дисковый генератор волн

Недостатки волновых передач:

- сложность изготовления;

- пониженный по сравнению с цилиндрическими зубчатыми передачами КПД ($\eta_{вп}$ = 0,8…0,9);

- ограниченность частоты вращения кулачкового генератора волн максимальной частотой вращения гибкого подшипника;

- высокая чувствительность к качеству смазки.

2.7.2. Передаточное число волновой передачи

При неподвижном жёстком зубчатом колесе 2 (рис. 2.15, *а*) передаточное число от вала генератора волн 3 к валу гибкого колеса 1:

$$u_{31}^{(2)} = -\frac{n_б}{n_т} = -\frac{\omega_3}{\omega_1} = -\frac{z_1}{z_2 - z_1} = -\frac{z_1}{K_z \nu} = -\frac{d_1}{d_2 - d_1}. \qquad (2.151)$$

Знак минус указывает на разные направления вращения ведущего и ведомого звеньев.

Передаточное число от вала генератора волн 3 к валу жесткого колеса 2 при неподвижном гибком колесе 1 (рис. 2.15, *б*) вычисляют по формуле

$$u_{32}^{(1)} = \frac{n_б}{n_т} = \frac{\omega_3}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_2 - z_1} = \frac{z_2}{K_z \nu} = \frac{d_2}{d_2 - d_1}. \qquad (2.152)$$

В формулах (2.151), (2.152): ω_1, ω_2, ω_3 – угловая скорость соответственно гибкого колеса, жесткого колеса и генератора волн; z_1, z_2 – числа зубьев гибкого и жесткого колес; d_1, d_2 – диаметры делительных окружностей гибкого и жесткого колес; ν – число волн деформации (ν = 1, 2, 3…, обычно ν = 2, реже 3); K_z – коэффициент кратности (обычно K_z = 1; при $u < 70$ K_z = 2; при $u < 45$ K_z = 3).

2.7.3. Геометрические параметры волновой передачи

Основные геометрические параметры волновой передачи показаны на рис. 2.18 (буквами *а*, *б*, *в* на рис. 2.18 обозначены варианты конструктивного исполнения гибкого колеса).

Параметры гибкого колеса:

- внутренний диаметр D;
- делительный диаметр зубчатого венца d_1;
- ширина зубчатого венца гибкого колеса b_1;
- толщина зубчатого венца гибкого колеса h_1;
- толщина оболочки гибкого колеса $h_2 = h_3$;
- длина гибкого колеса L;
- конструктивные размеры – b_3; h_4; h_5.

Параметры жёсткого колеса:

- делительный диаметр зубчатого венца d_2;
- ширина зубчатого венца гибкого колеса b_2;
- конструктивные размеры – c; h_6.

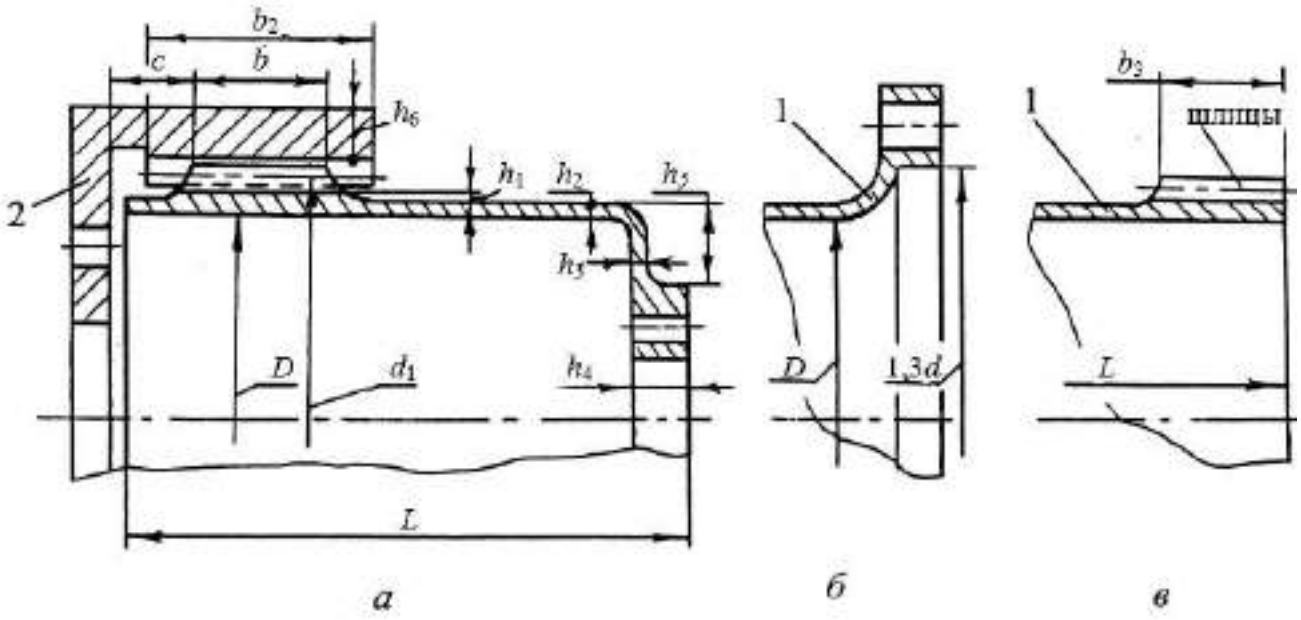


Рис. 2.18. Геометрические параметры волновой передачи

Таблица 2.27

Подшипники шариковые однорядные для волновых передач (ГОСТ23179-78)

Обозначение подшипника	Размеры, мм					Число шариков $z_Ш$	n_{max}, об/мин
	d	D	B	r	$d_Ш$		
806	30	42	7	0,5	3,969	21	3000
808	40	52	8			23	
809	45	62	9		5,953	21	
812	60	80	13		7,144	23	
815	75	100	15	1,0	9,128	21	
818	90	120	18		11,113	23	
822	110	150	24		14,288	21	1500
824	120	160				23	
830	150	200	30		19,050		
836	180	240	35	1,5	22,225		
844	220	300	45	2,5	28,575		
848	240	320	48				1000
860	300	400	60		36,513		
862	310	420	70				
872	360	480	72	3,5	44,450		

П р и м е ч а н и е. d – внутренний диаметр подшипника; D – наружный диаметр подшипника; B – ширина подшипника; r – радиус скругления кромок колец; $d_Ш$ – диаметр шариков.

Важным геометрическим параметром зацепления является модуль *m*, величина которого оговаривается стандартным рядом, мм: 0,20; 0,22; 0,28; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45. Ряд содержит также значения меньше 0,20 мм, однако их применяют редко из-за сложности нарезания внутренних зубьев жесткого колеса.

2.7.4. Материалы волновых передач

В качестве материалов зубчатых колес, как правило, используют стали, которые после термообработки имеют твердость 220…330 *HB* (табл. 2.28). В отдельных случаях колеса изготовляют из бериллиевой бронзы БрБ2 или пластмассы.

Таблица 2.28

Марки сталей для изготовления зубчатых колес волновых передач

Сталь	Твердость, *HB*	Предел выносливости σ_{-1}, МПа
40Х	280…300	500
40ХНМА	310…330	550
30ХГСА	300…320	530
38ХН3ВА	310…330	550
38ХМЮА	220…240	550
ШХ15	260…280	420
Х18Н10Т	220…240	350

2.7.5. Методика расчета волновой передачи

2.7.5.1. Общие положения

Исходные данные для расчета – см. подпункт 2.3.5.2.

Выбор двигателя – см. подпункт 2.3.5.3.

2.7.5.2. Кинематический расчет передачи

Кинематический расчет волновой передачи заключается в подборе чисел зубьев гибкого и жесткого колес по принятому в соответствии с исходными данными передаточным числом (формулы (2.152), (2.153)).

Число зубьев z_1 гибкого колеса определяют в зависимости от того, какое колесо вращается. При подвижном гибком колесе

$$z_1 = uK_z\nu, \tag{2.153}$$

при подвижном жестком колесе

$$z_1 = (u-1)K_z\nu. \tag{2.154}$$

2.7.5.3. Материалы и допускаемое напряжение

Материал зубчатых колес принимают в соответствии с п. 2.7.4.

Допускаемые напряжения смятия на боковых поверхностях зубьев определяют в виде:

$$[\sigma]_{см} = 15,7K_uK_nK_{d1},\ \text{МПа}, \tag{2.155}$$

где $K_u = \dfrac{u-20}{u}$ – коэффициент передаточного числа; $K_n = \dfrac{10}{\sqrt[3]{n_б}}$ – коэффициент частоты вращения генератора волн (в понижающей передаче частота вращения генератора волн равна частоте быстроходного вала $n_б$); K_{d1} – коэффициент делительного диаметра гибкого колеса (при $d_1 \le 130$ мм $K_{d1} = 1,25$; при $d_1 > 130$ мм $K_{d1} = 1$).

Для стальных зубчатых колес диапазон допускаемых напряжений составляет $[\sigma]_{см} = 10…20$ МПа, для пластмассовых – $[\sigma]_{см} = 3…5$ МПа.

2.7.5.4. Проектировочный расчет волновой передачи

Для выполнения расчета применяют упрощенные экспериментально проверенные зависимости. Они верны только для эвольвентных зубчатых колес, нарезанных стандартным инструментом с исходным контуром, имеющим угол

зацепления $\alpha = 20°$, коэффициент высоты зуба $h_a^* = 1$, коэффициент радиального зазора $C^* = 0{,}25$ для модулей более 1 мм и $C^* = 0{,}35$ для модулей до 1мм.

Делительный диаметр гибкого колеса, мм

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{10T_{\text{т}}K}{\psi_{bd}[\sigma]_{\text{см}}}}, \qquad (2.156)$$

где $T_{\text{т}}$ – в ньютонометрах; K – коэффициент режима работы передачи (при спокойной нагрузке с кратностью перегрузки $T_{\max}/T \le 1{,}2$ $K = 1$; при умеренной динамической нагрузке с $T_{\max}/T \le 1{,}6$ $K = 1{,}25$; при резко динамической нагрузке с $1{,}6 < T_{\max}/T \le 2{,}5$ $K = 1{,}75$); ψ_{bd} – коэффициент ширины зубчатого венца (для силовых ММ $\psi_{bd} = 0{,}15\ldots0{,}20$; для малонагруженных кинематических ММ $\psi_{bd} = 0{,}06\ldots0{,}15$).

Ширина зубчатого венца гибкого колеса равна

$$b_1 = \psi_{bd} d_1, \qquad (2.157)$$

где ψ_{bd} – коэффициент ширины зубчатого венца (для силовых передач $\psi_{bd} = 0{,}15\ldots0{,}20$; для малонагруженных кинематических передач $\psi_{bd} = 0{,}06\ldots0{,}15$).

При кулачковом генераторе волн делительный диаметр предварительно принимают равным внутреннему диаметру D гибкого колеса, который считают приблизительно равным наружному диаметру гибкого подшипника (см. табл. 2.27).

Числа зубьев z_1, z_2 – см. формулы (2.153), (2.154).

Модуль зубьев равен

$$m = \frac{d_1}{z_1}. \qquad (2.158)$$

После вычисления по (2.158) необходимо принять ближайшее стандартное значение модуля.

Уточняют делительный диаметр гибкого колеса в передаче *с дисковым генератором волн*:

$$d_1 = mz_1. \tag{2.159}$$

Находят фактическое передаточное число передачи в зависимости от того, какое колесо вращается:

- при подвижном гибком колесе

$$u_{\text{ф}} = \frac{z_1}{K_z \nu}; \tag{2.160}$$

- при подвижном жестком колесе

$$u_{\text{ф}} = \frac{z_1}{K_z \nu} + 1. \tag{2.161}$$

Вычисляют отклонение фактического передаточного числа от требуемого и проверяют соответствие отклонения техническим требованиям к ММ. В случае сверхнормативного отклонения необходимо изменить z_1 и скорректировать значение d_1.

Число зубьев жёсткого колеса

$$z_2 = z_1 + K_z \nu. \tag{2.162}$$

Толщина зубчатого венца гибкого колеса

$$h_1 = (70 + 0,5u)mz_1 \cdot 10^{-4}, \text{ мм}. \quad (2.163)$$

Толщина оболочки гибкого колеса

$$h_2 = (0,5...0,8)h_1. \quad (2.164)$$

Относительный боковой зазор между зубьями ненагруженной передачи

$$\bar{j}_{\max} = \frac{j_{\max}}{m} = \frac{T_{\max} b}{d_1^2 h_2 G m} + 4 \cdot 10^{-4}(u - 60), \quad (2.165)$$

где $j_{\max}$ – необходимый боковой зазор между зубьями ненагруженной передачи, мм; G – модуль упругости второго рода для материала гибкого колеса (для стали $G = 8,1 \cdot 10^4$ МПа).

Относительное радиальное упругое деформирование гибкого колеса

$$w_0^* = \frac{w_0}{m} = 0,89 + 8 \cdot 10^{-4} z_1 + 2 j_{\max}, \quad (2.166)$$

где w_0 – радиальное упругое деформирование гибкого колеса, мм.

Коэффициент смещения исходного контура зубьев гибкого колеса

$$x_1 = \frac{1,35 - w_0^*}{\frac{0,85}{\sqrt[3]{z_1}} - 0,04}. \quad (2.167)$$

Коэффициент смещения исходного контура зубьев жесткого колеса

$$x_2 = x_1 + w_0^* - 1. \quad (2.168)$$

Относительная глубина захода зубьев

$$h_d^* = \frac{h_d}{m} = 4w_0^* - (4,6 - 4w_0^*)z_1 \cdot 10^{-3} - 2,48, \qquad (2.169)$$

где h_d – глубина захода зубьев, мм.

Диаметр окружности впадин зубьев гибкого колеса

$$d_{f1} = m(z_1 - 2h_d^* - 2c^* + 2x_1). \qquad (2.170)$$

Диаметр окружности вершин зубьев гибкого колеса

$$d_{a1} = d_{f1} + 2m(h_d^* + c^*). \qquad (2.171)$$

Диаметр окружности вершин зубьев жесткого колеса

$$d_{a2} = d_{a1} - 2m(h_d^* + w_0^*). \qquad (2.172)$$

Диаметр окружности впадин зубьев жесткого колеса

$$d_{f2} = d_{a1} + 2m(0,15 + w_0^*). \qquad (2.173)$$

Для гибкого колеса передачи *с кулачковым генератором волн* уточняют значение толщины венца по формуле

$$h_1 = 0,5(d_{f1} - D). \qquad (2.174)$$

Длина гибкого колеса с дном (см. рис. 2.18, *а*) $L = 0,8D$, со шлицами (рис. 2.18, *в*) $L = 0,7D$.

Параметры остальных частей гибкого колеса: $h_3 = (0{,}7\ldots1)h_2$; $h_4 = 2h_1$; $h_5 \geq 0{,}16D$; $c = 0{,}2b$.

Ширина зубчатого венца жесткого колеса

$$b_2 = b + 0{,}6\sqrt{b}.. \qquad (2.175)$$

Длина шлицев (рис. 2.18, *в*) $b_3 = 0{,}5b$.

Определяют основные *геометрические параметры генератора волн*.

Геометрию кулачкового генератора (см. рис. 2.16) определяет радиус-вектор поперечного сечения ρ.

Радиус-вектор кулачка в каждой четверти равен

$$\rho = 0{,}5d_{\text{п}} + WmK_{\alpha}, \qquad (2.176)$$

где $d_{\text{п}}$ – внутренний диаметр гибкого подшипника; W – коэффициент радиальной деформации (табл. 2.29); K_{α} – коэффициент, зависящий от угла зацепления α ($K_{\alpha} = 1$ для $\alpha = 20°$; $K_{\alpha} = 0{,}89$ для $\alpha = 30°$).

Срок службы стандартных гибких подшипников составляет 10 000 ч, при эксплуатации допускаются кратковременные двукратные перегрузки.

Таблица 2.29

Значения коэффициента W

Угол φ	0	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
W	-1,25	-1,13	- 0,91	- 0,56	- 0,15	0,26	0,57	0,76	0,87	0,9

Эксцентриситет дискового генератора волн (см. рис. 2.17) равен

$$e = 3{,}4w_0^* m. \qquad (2.177)$$

Диаметр дисков

$$D_{д} = D + 2w_1 - 2e, \tag{2.178}$$

где w_1 – максимальная упругая деформация гибкого колеса с учетом податливости генератора волн и жесткого колеса, а также отклонений размеров от номинальных при изготовлении.

Значение w_1 определяют по формуле

$$w_1 = w_0^* m(0,97 + 0,025\sqrt{\sigma_{см}}),\ \text{мм}. \tag{2.179}$$

2.7.5.5. Проверочные расчеты

Запас усталостной прочности гибкого колеса

$$s = \frac{0,286\sigma_{-1}u_{ф}d_1}{K_d K_\sigma w_0^* E h_1 \sqrt{1 + 0,15\left(\frac{d_1}{L} + \frac{T_т u_ф}{w_0^* d_1 E h_1^{\,2}}\right)}}, \tag{2.180}$$

где E = 2,1 · 10^5 МПа – модуль упругости первого рода для стали; σ_{-1} – предел выносливости материала гибкого колеса (см. табл. 2.28); K_d – коэффициент увеличения напряжения от сил в зацеплении (формула (2.191)); K_σ – эффективный коэффициент концентрации напряжений у основания зуба (формула (2.192)).

Условие обеспечения необходимой выносливости гибкого колеса

$$s \geq [s], \tag{2.181}$$

где [s] = 1,2 – минимальный допускаемый запас усталостной прочности.

Величину коэффициента K_d определяют по формуле

$$K_d = 1 + \frac{2,2T_т}{10^8 d_1 h_1^2}, \qquad (2.182)$$

а коэффициента K_σ – по формуле

$$K_\sigma = 1 + \frac{0,05\sqrt{\frac{md_1(h_a^* + c^*)}{R_{\min} h_1}}(R_{\min} + 0,01)}{R_{\min} + 0,02}, \qquad (2.183)$$

где $R_{\min}$ – минимальный радиус переходной поверхности, равный

$$R_{\min} = \frac{m(h_a^* + c^* - x_1 - \rho^*)}{h_a^* + c^* - x_1 - \rho^* + 0,5z_1} + m\rho^*. \qquad (2.184)$$

Значения входящих в (2.193) величин: $c^* = 0,25$ и $\rho^* = 0,4$ при $m > 1$мм; $c^* = 0,35$ и $\rho^* = 0,4$ при $m = 1…0,5$ мм; $c^* = 0,5$ и $\rho^* = 0,33$ при $m < 0,5$ мм.

Вероятность P неразрушения гибкого зубчатого колеса в зависимости от коэффициента запаса усталостной прочности приведена в табл. 3.20.

Таблица 2.30

Вероятность P неразрушения гибкого зубчатого колеса и коэффициент K_L вероятности неразрушения гибкого подшипника

s	1,80	1,70	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40	1,30	1,20
P, %	99,8	99,6	99,0	98,5	97,8	96,7	95,1	90,0	87,0
K_L	0,50	0,60	0,66	0,69	0,73	0,80	0,90	1,00	

Уточняют КПД передачи. Потери в волновой передаче складываются из потерь в зацеплении и потерь при вращении генератора волн. Сопротивлением подшипников быстроходного и тихоходного валов пренебрегают. В этом случае КПД равен

$$\eta = \left[1 + \frac{1,1\,1\nu f_1}{\cos^2 \alpha} + 0,3 u f_2 \operatorname{tg}(\alpha + \rho') \right]^{-1}, \qquad (2.185)$$

где f_1 = 0,03…0,05 – коэффициент, учитывающий трение в зубчатом зацеплении; f_2 = 0,0015…0,003 – условный коэффициент, учитывающий трение во всех элементах генератора волн; $\rho' = \operatorname{arctg} f_1$ – приведенный угол трения.

После уточнения КПД выполняют *тепловой расчет* передачи. Температуру масла в корпусе редуктора определяют по формуле (2.134), причем коэффициент продолжительности работы редуктора находят по формуле

$$K_t = \frac{t_\text{р}}{t_\text{ц}}, \qquad (2.186)$$

где $t_\text{р}$ – время работы редуктора в течение цикла; $t_\text{ц}$ – длительность цикла, а поверхность охлаждения редуктора принимают равной

$$A = (8...10) d_1^2, \text{ м}^2. \qquad (2.187)$$

Полученную температуру сравнивают с допускаемой.

Контрольные вопросы

1. Поясните термины: механическая передача, вариатор, редуктор, мультипликатор.

2. Дайте сравнительную характеристику передач трением и передач зацеплением.

3. Перечислите разновидности ремённых передач.

4. Перечислите разновидности и дайте сравнительную характеристику цилиндрических зубчатых передач.

5. Укажите основные геометрические характеристики цилиндрической прямозубой передачи.

6. Какие материалы используются для изготовления цилиндрических зубчатых передач?

7. Поясните формулу: $a'_{w\text{т}} = 430(u_{\text{т}} \pm 1)\sqrt[3]{\dfrac{T_{2\text{т}} K_{H\beta\text{т}}}{u_{\text{т}}^{\,2} \psi_{ba\text{т}} [\sigma_H]_{\text{т}}^2}}$.

8. Перечислите разновидности и дайте сравнительную характеристику конических зубчатых передач.

9. Укажите основные геометрические характеристики конической прямозубой передачи.

10. Перечислите разновидности и дайте сравнительную характеристику червячных передач.

11. Укажите основные геометрические характеристики червячной передачи архимедовым червяком.

12. С какой целью выполняется тепловой расчёт червячной передачи?

13. Изобразите кинематическую схему планетарной передачи 2*K*-*H*.

14. Назовите достоинства и недостатки волновой зубчатой передачи.

3. ПОДШИПНИКИ

3.1. Классификация подшипников по виду трения

Подшипники служат опорами валов, вращающихся осей и других деталей, совершающих вращательное движение. Они воспринимают нагрузки, приложенные к вращающимся деталям, и сохраняют заданное положение осей вращения. От качества подшипников во многом зависит работоспособность и долговечность ММ. При выборе подшипников следует принимать во внимание, что они относятся к наименее долговечным узлам механизмов. Часто именно необходимость технического обслуживания или замены подшипников является причиной остановки ММ.

По виду трения различают *подшипники скольжения* и *подшипники качения*. Кроме того, подшипники скольжения разделяются на опоры *жидкостного*, *полужидкостного* и *полусухого трения*. При жидкостном трении рабочие поверхности деталей разделены слоем смазки, толщина которого больше суммы высот шероховатости поверхностей. Это условие не соблюдается в опорах полужидкостного и полусухого трения, поэтому вращение деталей в них сопровождается износом поверхностей даже без попадания абразивных частиц извне.

Практически во всех ответственных узлах ММ используются подшипники качения, что обусловлено следующими их *преимуществами* перед подшипниками скольжения:

- условный коэффициент трения подшипников качения мал, он равен 0,0015…0,0060 и приближается к коэффициенту жидкостного трения (0,001…0,005);

- подшипники качения не требуют большого количества смазки, что позволяет значительно упростить смазочную систему;

- конструкции подшипников качения позволяют производить их в массовых масштабах и обеспечивать их взаимозаменяемость;

- относительно меньшие осевые габариты.

К *недостаткам* подшипников качения следует отнести:

- отсутствие конструкций, разъемных в радиальном направлении;

- сравнительно большие радиальные габариты;

- ограниченную быстроходность, связанную с кинематикой и динамикой тел качения;

- низкую работоспособность в агрессивных средах, а также при вибрационных и ударных нагрузках.

Несмотря на сокращение области применения подшипников скольжения, в ряде случаев они остаются незаменимыми, и конструктор обязан это учитывать в процессе разработки ММ.

Далее будут рассмотрены подшипники качения.

3.2. Конструкции и классификация подшипников качения

В общем случае подшипник качения состоит из *колец* с беговыми дорожками, *тел качения* и *сепаратора*. Тела качения расположены между кольцами и перемещаются по беговым дорожкам. Сепаратор представляет собой элемент, охватывающий тела качения и распределяющий их равномерно по окружности.

Кроме того, конструкция подшипника может включать в себя другие детали: уплотнительные и защитные шайбы, конические втулки с круглыми гайками и т. п. В некоторых преобразователях движения используют, наоборот, упрощенные подшипники (без одного из колец). Со всем многообразием подшипников качения можно ознакомиться с помощью специальной технической литературы.

По виду тел качения различают *шариковые* и *роликовые* подшипники. Роликовые делятся на подшипники *с короткими цилиндрическими роликами*, *с длинными цилиндрическими роликами*, *игольчатые*, *с коническими роликами* и *с бочкообразными роликами*.

По направлению воспринимаемой нагрузки подшипники подразделяются на *радиальные*, *упорные*, *радиально-упорные* и *упорно-радиальные*.

Радиальные шариковые подшипники – наиболее простые и дешевые. Они допускают небольшие перекосы вала (до 0,25°) и могут воспринимать не только радиальные, но и значительные осевые нагрузки. Благодаря своим достоинствам эти подшипники широко распространены в преобразователях движения ММ.

Радиальные роликовые подшипники с короткими цилиндрическими роликами способны воспринимать значительно бóльшие радиальные нагрузки, чем шариковые, но не допускают радиальных нагрузок и перекосов вала.

Радиально-упорные шариковые подшипники имеют особую форму наружного кольца, вследствие чего равнодействующая сил давления шарика на кольцо образует с диаметральной плоскостью угол α, называемый *углом контакта*.

В радиально-упорных и упорно-радиальных роликовых подшипниках используются конические ролики. Сравнение этих подшипников с радиально-упорными шариковыми показывает, что роликовые обладают существенно большей нагрузочной способностью, но гораздо хуже воспринимают перекосы вала.

Шариковые и роликовые упорные подшипники при малых размерах обладают весьма высокой нагрузочной способностью, но воспринимают только осевые нагрузки и не допускают перекоса вала.

Особую группу образуют шариковые и роликовые *радиальные сферические подшипники*. Наружное кольцо такого подшипника имеет сферическую рабочую поверхность, с которой контактируют шарики или бочкообразные ролики. Сферические подшипники способны работать при перекосах вала до 2…3° и обеспечивать его вращение в случае установки опор в раздельных корпусах.

По габаритам подшипники разделяют на семь серий диаметров и ширин: *сверхлегкую*, *особо легкую*, *легкую широкую*, *среднюю*, *среднюю широкую*, *тяжелую*. Однотипные подшипники с одинаковыми диаметрами внутреннего кольца, но относящиеся к разным сериям, имеют различные размеры тел качения, и, как следствие, различную нагрузочную способность.

По классам точности различают подшипники: класса 0 (*нормальной точности*); 6 (*повышенной*); 5 (*высокой*); 4 (*особо высокой*); 2 (*сверхвысокой*). От точности существенно зависит работоспособность подшипника, но одновременно с повышением точности возрастает и стоимость. Так, с переходом от класса 0 к классу 2 относительная стоимость подшипника повышается примерно в 10 раз. Поэтому использовать высокоточные подшипники в преобразователях движения ММ рекомендуется *в обоснованных случаях*.

3.3. Методика расчета подшипников качения

3.3.1. Исходные данные для расчета

В результате расчета передач и конструирования валов (см. раздел 4) редуктора определены следующие данные, использующиеся как исходные при расчете подшипников:

– расчетные схемы валов с внешними нагрузками и реакциями опор;

– диаметры опорных поверхностей валов;

– частоты вращения валов;

– срок службы ММ;

– нагрузочная диаграмма (циклограмма);

– особые требования (например, максимальные допустимые значения кинематической погрешности и мертвого хода).

Кроме указанных, из технического задания на редуктор могут следовать дополнительные требования, например, максимальные допустимые габаритные размеры ММ, наличие и кратность динамических нагрузок и т. д.

3.3.2. Предварительный выбор подшипников

Подшипники предварительно назначают по *виду передачи*, *функции вала* в редукторе и *диаметру опорных поверхностей* $d_{\text{п}}$.

Валы цилиндрических зубчатых передач, как правило, устанавливают на шариковых радиальных подшипниках. Для конических и червячных передач необходимы радиально-упорные подшипники; в большинстве случаев в преоб-

разователях движения ММ применяют роликовые радиально-упорные конические подшипники. В кулачковых генераторах волновых передач используют гибкие шариковые подшипники. В тех случаях, когда на вал действуют значительные осевые силы, в подшипниковые узлы включают упорные подшипники.

Для установки быстроходного и промежуточного валов трехосного цилиндрического редуктора могут быть рекомендованы подшипники средней серии, тихоходного вала – легкой. В соосном цилиндрическом редукторе, как правило, опоры всех валов требуют подшипников средней или тяжелой серий. Обычно в обеих опорах вала располагают одинаковые подшипники.

Для валов червяков и шестерен конических передач целесообразно предварительно назначить роликовые радиально-упорные конические подшипники средней серии. Следует иметь в виду, что в передачах с постоянным направлением осевой силы менее нагруженный подшипник часто принимают более легкой серии. Опоры валов червячных колес в большинстве случаев ставят на подшипники легкой серии.

По приведенным выше рекомендациям и значению диаметра $d_{\text{п}}$ выбирают подшипники и выписывают из соответствующего стандарта их основные характеристики.

Предварительно принятые подшипники требуют проверки. Поскольку в подавляющем большинстве преобразователей движения ММ валы вращаются с частотами более 1 об/мин, то далее рассматривается проверка *по динамической грузоподъемности*.

3.3.3. Проверочный расчет подшипников по динамической грузоподъемности

3.3.3.1. Шариковые радиальные подшипники

Вал установлен в двух опорах – A и B, радиальные реакции опор – соответственно R_A и R_B, осевая реакция опоры A – R_{Aa}.

Определяют отношения

$$\frac{R_{Aa}}{VR_A}; \tag{3.1}$$

$$\frac{R_{Aa}}{C_{0r}}, \tag{3.2}$$

где V – коэффициент вращения (V = 1 – при вращающемся внутреннем кольце; V = 1,2 – при вращающемся наружном кольце подшипника); C_{0r} – табличная статическая грузоподъемность подшипника, Н.

По значению (3.2) и табл. 3.1 устанавливают коэффициент влияния осевого нагружения e.

Таблица 3.1

Коэффициенты e и Y для шариковых радиальных однорядных подшипников

R_{Aa}/C_{0r}	0,014	0,028	0,056	0,084	0,110	0,170	0,280	0,420	0,560
e	0,19	0,22	0,26	0,28	0,30	0,34	0,38	0,42	0,44
Y	2,30	1,99	1,71	1,55	1,45	1,31	1,15	1,04	1,00

Сравнение величин (3.1) и e показывает *значимость осевой силы*. Если $\frac{R_{Aa}}{VR_A} \le e,$ то в дальнейшем осевую составляющую реакции опоры A не учитывают и считают подшипник нагруженным только радиально.

Следующим шагом определяют *эквивалентные нагрузки* на подшипники.

Простейшим случаем нагружения преобразователя движения является *постоянный режим*, при котором величины реакций опор не изменяются со временем. Пусть в опоре A учет осевой реакции необходим. Тогда эквивалентные нагрузки на подшипники равны

$$\begin{aligned} P_{эA} &= (VXR_A + YR_{Aa})K_б K_T; \\ P_{эB} &= VR_B K_б K_T, \end{aligned} \tag{3.3}$$

где X = 0,56 – коэффициент радиальной нагрузки; Y – коэффициент осевой нагрузки (см. табл. 3.1); $K_б$ – коэффициент безопасности (табл. 3.2); K_T – температурный коэффициент (при рабочей температуре подшипника до 125 °С K_T = 1).

Если же осевую реакцию учитывать не нужно, то эквивалентную нагрузку на подшипник A определяют из выражения

$$P_{эA} = VR_A K_б K_T. \tag{3.4}$$

Преобразователи движения ММ и роботов часто предназначены для выполнения вполне определенных операций, характеризующихся переменными нагрузками, скоростями движения рабочего органа и продолжительностью. В таких случаях для минимизации массы и размеров ММ необходимо учитывать *переменный характер режима нагружения*.

Учет режима нагружения производится при вычислении *приведенной эквивалентной нагрузки* на подшипник за цикл $P_{эЦ}$.

Пусть в течение цикла длительностью $t_Ц$ эквивалентная нагрузка на подшипник изменяется линейно от $P_{эmin}$ до $P_{эmax}$, а частота вращения вала n = const. Тогда приведенная эквивалентная нагрузка равна

$$P_{эЦ} = \frac{P_{эmin} + 2P_{эmax}}{3}. \tag{3.5}$$

В более сложном случае, когда цикл состоит из k участков с различной нагрузкой на подшипник, приведенная эквивалентная нагрузка равна

$$P_{эЦ} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^{k}\left(P_{эi}^3 t_i n\right)}{t_Ц}}, \tag{3.6}$$

где $P_{эi}$ – эквивалентная нагрузка на i-ом участке; t_i – длительность i-ого участка.

В самом общем случае, когда в зависимости от участка циклограммы изменяется не только нагрузка, но и частота вращения вала, приведенная эквивалентная нагрузка равна

$$P_{эЦ} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^{k}\left(P_{эi}^{3} t_i n_i\right)}{\sum_{i=1}^{k}(t_i n_i)}}, \tag{3.7}$$

где n_i – частота вращения вала на i-ом участке циклограммы.

Затем находят *требуемую динамическую грузоподъемность* подшипников по формулам:

для постоянного режима нагружения

$$\begin{aligned} C_{r\text{тр}A} &= P_{эA}\sqrt[3]{L\cdot 10^{-6}}; \\ C_{r\text{тр}B} &= P_{эB}\sqrt[3]{L\cdot 10^{-6}}; \end{aligned} \tag{3.8}$$

для переменного режима нагружения

$$\begin{aligned} C_{r\text{тр}A} &= P_{эЦA}\sqrt[3]{L\cdot 10^{-6}}; \\ C_{r\text{тр}B} &= P_{эЦB}\sqrt[3]{L\cdot 10^{-6}}, \end{aligned} \tag{3.9}$$

где L – число оборотов вала за срок службы ММ.

Вид выражения для вычисления L зависит от того, как в техническом задании указан срок службы ММ. Если оговорен календарный срок $T_{сл}$, лет, то число оборотов вала за $T_{сл}$ вычисляют следующим образом: для первого и второго из рассмотренных случаев

$$L = 60T_{\text{сл}} n_{\text{рд}} n_{\text{см}} t_{\text{см}} n; \qquad (3.10)$$

для третьего случая

$$L = 60T_{\text{сл}} n_{\text{рд}} n_{\text{см}} t_{\text{см}} \sum_{i=1}^{k} \frac{t_i n_i}{t_{\text{Ц}}}, \qquad (3.11)$$

где $n_{\text{рд}}$ – число рабочих дней в году; $n_{\text{см}}$ – число рабочих смен в сутки; $t_{\text{см}}$ – число рабочих часов в смену.

В (3.10) и (3.11) $t_{\text{Ц}}$ и t_i – в минутах.

Если же задан фонд рабочего времени $T_{\text{раб}}$, то (3.10) и (3.11) соответственно преобразуются в формулы

$$L = 60T_{\text{раб}} n; \qquad (3.12)$$

$$L = 60T_{\text{раб}} \sum_{i=1}^{k} \frac{t_i n_i}{t_{\text{Ц}}}. \qquad (3.13)$$

Затем сравнивают бóльшую из требуемых динамических грузоподъемностей подшипников с табличной динамической грузоподъемностью $C_{r\text{табл}}$ предварительно принятого подшипника. Подшипник проработает заданный срок, если $C_{r\text{тр}} \le C_{r\text{табл}}$.

Особо следует рассмотреть проверку подшипников генераторов волн волновой передачи.

В процессе расчета передачи (см. п. 2.7.5) в соответствии с величиной делительного диаметра d_1 гибкого колеса был принят гибкий подшипник кулачкового генератора или подшипники шариковые радиальные дискового генератора. Требуемая динамическая грузоподъемность подшипника равна

$$C_{r\text{тр}} = 0{,}01 P_{\text{эЦ}} \frac{\sqrt[3]{60 T_{\text{раб}} n_{\text{п}}}}{K_L}, \qquad (3.14)$$

где $P_{\text{эЦ}}$ – определяют по формуле (3.7) с подстановкой в нее $P_{\text{э}i}$, найденных по (3.15); $n_{\text{п}}$ – эквивалентная частота вращения подшипника генератора волн (формула (3.16)); K_L – коэффициент, принимаемый по табл. 2.30.

Величину эквивалентной нагрузки на i-ом участке находят по выражению

$$P_{\text{э}i} = 0{,}6 \frac{T_{\text{т}i}}{d_1} V K_{\text{б}} K_T, \qquad (3.15)$$

где $T_{\text{т}i}$ – крутящий момент на тихоходном валу на i-ом участке; V = 1,2; $K_{\text{б}}$ – принимают в зависимости от вида генератора волн ($K_{\text{б}}$ = 1,1 – для кулачкового генератора; $K_{\text{б}}$ = 1,3 – для дискового генератора); $K_{\text{т}}$ – принимают в зависимости от температуры подшипника ($K_{\text{т}}$ = 1 – до 100 °С включительно; $K_{\text{т}}$ = 1…1,05 – от 100 °С до 125 °С; $K_{\text{т}}$ = 1,05…1,4 – от 125 °С до 250 °*С*).

Эквивалентная частота вращения подшипника равна

$$n_{\text{п}} = \sum_{i=1}^{k} \frac{t_i n_{\text{п}i}}{t_{\text{Ц}}}, \qquad (3.1)$$

а $n_{\text{п}i}$ определяют следующим образом: для кулачкового генератора (рис. 2.16) $n_{\text{п}i}$ = n_{1i}; для дискового генератора (рис. 2.17) с подвижным гибким зубчатым колесом

$$n_{\text{п}i} = \frac{d_1 (n_{3i} - n_{1i})}{D_{\text{д}}}; \qquad (3.17)$$

для дискового генератора с подвижным жестким зубчатым колесом

$$n_{\text{пі}} = \frac{d_1(n_{3i} - n_{2i})}{D_{\text{д}}}; \tag{3.18}$$

Полученное значение требуемой динамической грузоподъемности не должно превышать расчетную грузоподъемность, которую для гибкого подшипника находят по формулам:

при диаметре шарика $d_{\text{Ш}} \le 25{,}4$ мм

$$C = f_c (j \cos\gamma)^{0,7} z_{\text{Ш}}^{0,67} d_{\text{Ш}}^{1,8}; \tag{3.19}$$

при диаметре шарика $d_{\text{Ш}} > 25{,}4$ мм

$$C = 3{,}647 f_c (j \cos\gamma)^{0,7} z_{\text{Ш}}^{0,67} d_{\text{Ш}}^{1,4}, \tag{3.20}$$

где $f_c = 5\ldots5{,}2$ – коэффициент динамической грузоподъемности; j – число рядов шариков в подшипнике (обычно $j = 1$); γ – угол контакта тел качения с кольцами; $z_{\text{Ш}}$ – количество шариков в ряду.

Стандартные $z_{\text{Ш}}$ и $d_{\text{Ш}}$ см. в табл. 2.27.

Осевая нагрузка на гибкий подшипник равна 0,1 радиальной, поэтому

$$\gamma = \text{arctg}0{,}1 = 5{,}71^\circ = 5^\circ 43', \tag{3.21}$$

и формулы (3.19) и (3.20) для $j = 1$ принимают вид

$$C = 0,996 f_c z_{\text{Ш}}^{0,67} d_{\text{Ш}}^{1,8} \approx f_c z_{\text{Ш}}^{0,67} d_{\text{Ш}}^{1,8}; \tag{3.22}$$

$$C = 3,63 f_c z_{\text{Ш}}^{0,67} d_{\text{Ш}}^{1,4}. \tag{3.23}$$

Расчетные динамические грузоподъемности шариковых радиальных подшипников дисковых генераторов волн указаны в стандарте на подшипники.

При выполнении условия $C_{\text{тр}} \le C$ принятый подшипник будет обладать заданной долговечностью $T_{\text{раб}}$.

Может быть также использован другой способ оценки долговечности гибкого подшипника.

Определяют эквивалентный крутящий момент на тихоходном валу за рабочий цикл

$$T_{\text{э}} = \sum_{i=1}^{k} \frac{T_{\text{т}i} t_i n_{\text{п}i}}{t_{\text{Ц}}}. \tag{3.24}$$

после чего находят расчетную долговечность подшипника по формуле

$$L_h = \frac{n_{\max} T_{\max}}{n_{\text{п}} T_{\text{э}}} \cdot 10^4, \text{ ч}, \tag{3.25}$$

где $n_{\max}$ – предельная частота вращения для подшипника по табл. 2.27; $T_{\max}$ – допустимый крутящий момент на тихоходном валу (табл. 3.2).

3.3.3.2. Радиально-упорные подшипники

В радиально-упорных подшипниках контактные линии наклонены к оси вала на угол α, что при радиальном нагружении приводит к появлению *внутренних осевых сил S* (рис. 3.1).

Значения *S* определяют так:

- для шариковых подшипников

$$S = eR; \tag{3.26}$$

- для роликовых подшипников

$$S = 0,83eR, \tag{3.27}$$

где *e* – параметр осевой нагрузки (по каталогу).

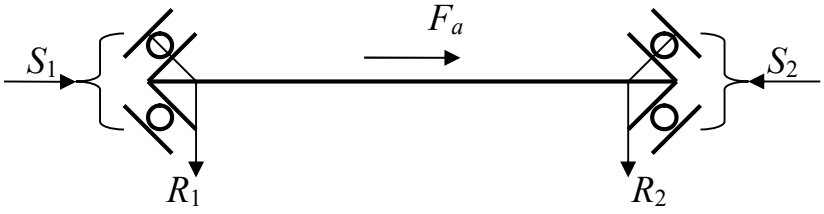


Рис. 3.1. Схема вала на радиально-упорных подшипниках
(F_a – внешняя осевая сила)

Осевые нагрузки на подшипники вычисляют по формулам, приведенным в табл. 3.3.

Эквивалентную динамическую нагрузку на роликовый подшипник следует определять по формулам:

$$\begin{aligned} C_{r\text{тр}} &= P_{\text{э}} \sqrt[3,33]{L \cdot 10^{-6}}; \\ C_{r\text{тр}} &= P_{\text{эЦ}} \sqrt[3,33]{L \cdot 10^{-6}}. \end{aligned} \tag{3.28}$$

В остальном методика проверки аналогична приведенной в подпункте 3.3.3.1.

Таблица 3.2

Допустимый крутящий момент на тихоходном валу волновой передачи T_{max}, Нм

Диаметр наружного кольца D, мм	Передаточное число u	Допустимый крутящий момент T_{max}
100	80	180
	100	200
	125	224
	160	250
	200 и более	280
120	80	355
	100	400
	125	450
	160	500
	200 и более	560
160	80	710
	100	800
	125	900
	160 и более	1000
200	80	1400
	100	1600
	125	1800
	160 и более	2000
240	80	2800
	100	3150
	125 и более	3550
320	80	5600
	100 и более	6300

Таблица 3.3

Расчет осевых нагрузок на подшипники вала по рис. 3.1

Условия нагружения	Осевые нагрузки
$S_1 > S_2$; $F_a > 0$	$F_{a1} = S_1$; $F_{a2} = S_1 + F_a$
$S_1 < S_2$; $F_a > S_2 - S_1$	
$S_1 < S_2$; $F_a < S_2 - S_1$	$F_{a1} = S_2 - F_a$; $F_{a2} = S_2$

Контрольные вопросы

1. Дайте сравнительную характеристику подшипников скольжения и подшипников качения.

2. Перечислите разновидности подшипников по виду тел качения.

3. Перечислите разновидности подшипников по направлению воспринимаемой нагрузки.

4. Что является причиной возникновения осевой силы от радиальной нагрузки в радиально-упорном подшипнике?

5. Какую функцию в подшипнике качения выполняет сепаратор?

6. Что такое статическая грузоподъёмность и динамическая грузоподъёмность подшипника?

7. Опишите порядок проверки на долговечность шарикового радиального подшипника.

4. ВАЛЫ И ОСИ

4.1. Общие сведения

Валы и оси служат для размещения на них вращающихся деталей: зубчатых колес, шкивов, барабанов и т.п. Отличие вала от оси состоит в том, что он передает крутящий момент от одной детали к другой, а ось не передает. *Вал* всегда *вращается*, а *ось* может быть *как вращающейся*, так и *не вращающейся*.

Различают валы *прямые*, *коленчатые* и *гибкие*. В преобразователях движения ММ, как правило, применяются прямые валы. Коленчатые и гибкие валы относятся к специальным деталям и далее рассматриваться не будут.

По наличию ступеней валы делятся на *гладкие* и *ступенчатые*. Наличие ступеней связано с установкой на валу деталей и самого вала в опорах. В некоторых случаях выполнение вала или оси ступенчатой формы позволяет существенно уменьшить их массу.

Валы изготовляют *сплошными* или *полыми*. Полость либо уменьшает массу вала, либо позволяет пропустить через вал другую деталь, подвести масло к контактирующим поверхностям и т.п.

Для изготовления валов и осей применяют преимущественно *углеродистые* и *легированные стали*, предусматривающие все возможные виды упрочнения.

Далее приводится методика расчета вала преобразователя движения ММ.

4.2. Методика расчета валов

4.2.1. Исходные данные

Размеры устанавливаемых на вал элементов (зубчатых и червячных колес, посадочные диаметры подшипников и т.п.).

Значения нагрузок на эти элементы. Передаваемый валом крутящий момент.

Частота вращения вала.

Циклограмма нагружения и срок службы ММ.

Дополнительные требования (ориентировочные габаритные размеры, тип подшипников и пр.).

4.2.2. Проектировочный расчет

Определяют *характерный диаметр* вала

$$d = 10\sqrt[3]{\frac{T}{0{,}2[\tau]}}, \qquad (4.1)$$

где T – передаваемый валом крутящий момент, Нм; $[\tau]$ = 20 МПа – уменьшенное допускаемое касательное напряжение.

Для быстроходных и тихоходных валов d – диаметр выходного конца, его значение следует принять ближайшее по ГОСТ 12080 или ГОСТ 12081 к полученному по (4.1).

Для промежуточных валов d – диаметр ступеньки под зубчатым (или червячным) колесом, его значение следует принять ближайшее по ряду *Ra*40 к полученному по (4.1).

Диаметры остальных ступенек вала назначают с учетом величины характерного диаметра конструктивно, принимая во внимание требования технологии изготовления и сборки, ряд номинальных размеров, вероятные размеры подшипников и известные размеры сопряженных с валом деталей.

4.2.3. Разработка расчетной схемы

Расчетная схема представляет собой схематичное изображение вала в виде двухопорной балки. Нагрузки показывают в виде сосредоточенных сил и моментов. При необходимости балку снабжают пометками с указанием диаметров ступенек.

Быстроходный вал преобразователя движения ММ соединяют с валом двигателя без компенсирующей муфты, поэтому консольная нагрузка на его выходной конец отсутствует. Часто шестерню быстроходной ступени редуктора

насаживают прямо на вал двигателя, в результате чего необходимость в быстроходном вале отпадает.

На выходной конец тихоходного вала преобразователя движения ММ общего назначения может действовать *консольная нагрузка*, которую учитывают в виде силы, определяемой по следующим формулам:
для одноступенчатого цилиндрического редуктора

$$F_{\text{к}} = 125\sqrt{T_{\text{т}}}, \text{Н}; \tag{4.2}$$

для двухступенчатого цилиндрического редуктора и для червячного редуктора

$$F_{\text{к}} = 250\sqrt{T_{\text{т}}}, \text{Н}, \tag{4.3}$$

где $T_{\text{т}}$ – в ньютонометрах.

Длины ступенек при разработке расчетной схемы назначают с учетом размеров деталей, ряда номинальных размеров, а также соотношений, принятых в практике конструирования.

4.2.4. Построение эпюр изгибающих и крутящих моментов в поперечных сечениях вала

Данный пункт расчета подробно рассматривается в курсе «Сопротивление материалов».

4.2.5. Проверка вала на усталостную прочность

Методика проверки достаточно полно изложена в учебной литературе. Здесь же остановимся на нижеследующем отличии проверки вала преобразователя движения ММ от проверки вала редуктора общего назначения.

Разрабатывая преобразователь движения ММ, техническое задание на который содержит требование *обеспечения минимальной массы*, конструктор обязан решить вопрос о возможности и целесообразности корректировки диаметров ступенек вала по результатам проверки.

Пусть в опасном сечении вала диаметром $d_{\text{ос}}$ запас усталостной прочности больше допускаемого, т.е. $s > [s]$. Тогда скорректированное значение диаметра достаточно точно может быть определено по формуле

$$d'_{\text{ос}} \approx d_{\text{ос}} \sqrt[3]{\frac{[s]}{s}}. \qquad (4.4)$$

Допускаемый запас прочности, рекомендуемый технической литературой, $[s] = 1{,}6\ldots2{,}1$, но при повышенных требованиях к жесткости следует принимать $[s] = 2{,}5\ldots3$. В случае, когда к ММ предъявляются высокие требования в части точности, желательно обеспечить $[s] = 2{,}5$. В силу различных причин (минимизация массогабаритных показателей, определенная компоновка преобразователя движения и т. д.) $[s]$ может быть понижен до $[s] = 1{,}6$, но тогда появляется опасность возникновения слишком большой погрешности в передаче из-за деформации вала.

Изменение диаметра одного участка при сохранении принятого соотношения диаметров повлечет за собой соответствующее уменьшение диаметров остальных участков, в том числе – под подшипниками. На предыдущем этапе (подразд. 3.3) принятые предварительно подшипники были проверены по динамической грузоподъемности, их серия, а, возможно, и тип были подобраны таким образом, чтобы максимально приблизить $C_{r\text{тр}}$ к C_r. Корректировка же диаметров вала делает эти подшипники непригодными, поэтому следует заново назначить подшипники и выполнить их проверку.

Контрольные вопросы

1. В чём отличие вала от оси?
2. Перечислите разновидности валов.
3. С какой целью на валах механических передач выполняют ступеньки?
4. Поясните формулу: $F_{\text{к}} = 125\sqrt{T_{\text{т}}}$.
5. Перечислите пункты методики расчёта вала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии представлены конструкции и методы расчёта соединений, передач, подшипников и валов, наиболее часто применяющихся в механической составляющей мехатронных модулей. Правильностью проектирования перечисленных компонентов определяется компактность и надёжность устройства в целом, поэтому задачу, на решение которой направлено учебное пособие, можно считать выполненной.

Необходимо подчеркнуть, однако, что разработка данного учебного материала не имела целью формирование исчерпывающих знаний в области проектирования механического оборудования. Раздел «Валы и оси» дан сокращённо, и для получения более полной информации учащимся следует обратиться к специальным источникам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. – М.: Машиностроение, 1992.

Дунаев П. Ф., Леликов О. П. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Изд. центр «Академия», 2008.

Иванов М. П., Финогенов В. А. Детали машин: учебник для академического бакалавриата. – М.: Изд-во Юрайт, 2014.

Таугер В. М. Конструирование преобразователей движения мехатронных модулей: учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2006.

Таугер В. М. Техническая механика. Детали машин: учеб. пособие – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018.

Таугер В. М. Конструирование мехатронных модулей: учеб. пособие. – М: Изд-во «Ай Пи Ар Медиа», 2022.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.В.04 ТЕХНОЛОГИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Направление -

15.03.06 Мехатроника и робототехника

Профиль -

Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрены на заседании кафедры	Рассмотрен методической комиссией факультета
Информатики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Дружинин А.В.	Осипов П.А..
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 26.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

1. АБСТРАКТНЫЕ ТИПЫ ДАННЫХ И ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ 6

2.ПРИМЕРЫ АБСТРАКТНЫХ ТИПОВ ДАННЫХ 9

3. ОБЗОР СРЕДСТВ ОПИСАНИЯ КЛАССОВ 11

3.1. Классы и члены 11

3.2. Конструктор и деструктор 12

3.3. Встроенные (inline) функции 14

3.4. Класс vector 17

3.5. Перегрузка операторов 19

3.6. Указатель this 21

3.7.Дружественные функции-операции 22

3.8. Класс очередь que. Шаблон класса 22

3.9. Наследование. Производные классы 24

4. ОБРАБОТКА ИСКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ 27

4.1. Необходимость обработки исключений 27

4.2. Общие принципы обработки исключительных ситуаций в C++ 29

4.3. Возбуждение ситуации 30

4.4. Обработка исключений 32

5. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИМЕРОВ 34

5.1. Класс полином 34

5.2. Класс таблица 36

6. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ 39

ЛИТЕРАТУРА 41

ВВЕДЕНИЕ

Язык С++ предоставляет гибкие и эффективные средства определения новых типов. Используя определения новых типов, отвечающих понятиям проблемной области (приложениям), программист может разбивать разрабатываемую программу на части, легко поддающиеся контролю.

Новый тип создается пользователем для определения понятия, которому среди встроенных типов нет соответствия. Гораздо легче понять программу, в которой создаются типы, отвечающие понятиям проблемной области. Хорошо определенные типы делают программу ясной и короткой. Кроме того, компилятор может обнаружить недопустимое использование данных.

Такой метод построения программ называют абстракцией данных. Информация о типах содержится в объектах, тип которых определяется пользователем. Программирование с применением объектов называют объектно-ориентированным [1,2].

Язык С++ является языком объектно-ориентированного программирования (ООП). Автор языка создавал его с целью поддержки абстракции данных и объектно-ориентированного программирования. Родоначальниками языков такого типа являются языки Smalltalk и Simula 67.

Объектно-ориентированный язык – это язык программирования, на котором программа задается описанием поведения совокупности взаимосвязанных объектов. Объектно-ориентированное программирование имеет дело с объектами.

Объектно-ориентированные языки включают следующие основные черты: инкапсуляция данных, полиморфизм, наследование.

Объекты могут включать закрытые (private) данные и правила их обработки, доступные только объекту, защищенные (protected), доступные объекту и его наследникам, а также общие (public) данные и правила, которые доступны объектам и модулям в других частях программы. Важной чертой ООП является наследование, то есть возможность создавать иерархическую последовательность объектов от более общих к более специфическим объектам.

Методические указания содержат четыре основных раздела.

В первом разделе обсуждается взаимосвязь абстрактных типов данных и объектно-ориентированного программирования.

Во втором разделе приводится список примеров, в которых вводится понятие, являющееся абстракцией.

В третьем разделе дается краткий обзор средств языка C++, необходимых для реализации абстрактного понятия, причем вводимые средства показываются на конкретных примерах. Для определения нового (пользовательского) типа вводится понятие класс. С понятием класс непосредственно связаны понятия конструктор и деструктор. В этом же разделе рассматриваются простейшие средства для реализации производных классов.

Четвертый раздел посвящен обработке исключительных ситуаций, возникающих в процессе работы программ.

Пятый раздел представляет собой реализацию конкретных абстрактных понятий, а именно, реализацию полинома и таблицы.

В шестом разделе представлены задания для практических занятий.

1. АБСТРАКТНЫЕ ТИПЫ ДАННЫХ И ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

В языках высокого уровня можно выделить следующие категории средств определения данных:

– встроенные типы данных (integer, real, character, boolean);

– средства структурирования составных объектов (array, record, union);

– средства определения новых типов данных – это абстракция данных;

– средства отображения иерархии типов данных.

Понятие абстрактного типа [1] пришло в программирование из математики. Абстрактный объект – это то, что является предметом математического рассуждения, состоящего из определений, допущений (или постулатов) и утверждений, выводимых из определений и допущений по общепонятным правилам логического вывода (например, хорошо знакомые математикам: множества, функции, последовательности и рекурсивные структуры).

Организация данных в языках программирования базируется на понятии *типа*. К особенностям понятия типа следует отнести следующие:

1) тип определяет класс значений, которые могут принимать переменная или выражение;

2) каждое значение принадлежит одному и только одному типу;

3) тип значения константы, переменной или выражения можно вывести либо из контекста, либо из вида самого операнда, не обращаясь к значениям, вычисляемым во время работы программы;

4) каждой операции соответствует некоторый фиксированный тип ее операндов и некоторый фиксированный тип результата;

5) для каждого типа свойства значений и элементарных операций над значениями задаются с помощью аксиом;

6) при работе с языком высокого уровня знание типа позволяет обнаруживать в программе бессмысленные конструкции и решать вопрос о методе представления данных и преобразования их в вычислительной машине.

Абстракция – это инструмент познавательной деятельности человека, позволяющий лучше отразить суть дела и приводящий к абстрактным понятиям. Поэтому имеет смысл говорить о средствах абстракции в языках программирования, которые сами являются средством понимания и построения алгоритмов и обмена мыслями и результатами между программистами.

Абстрактный тип данных в языках программирования – это определение некоторого понятия в виде класса объектов с некоторыми свойствами и операциями. Такое определение оформляется как специальная синтаксическая конструкция, которая называется *классом* в языке C++.

В определение абстрактного типа данных входят следующие четыре части.

1) Внешность, содержащая имя определяемого типа (понятия), имена операций с указанием типов их аргументов и значений.

2) Абстрактное описание операций и объектов, с которыми они работают, средствами некоторого языка спецификаций.

3) Конкретное описание операций и объектов средствами языка программирования.

4) Описание связи между (2) и (3), объясняющее, в каком смысле часть (3) корректно представляет часть (2).

Внешность – это видимая часть определения, его интерфейс. Отметим, что спецификация определяет то, что важно для пользователя. А для пользо-

вателя существенным является «поведение», то есть «то, что делается», а несущественным – «то, как это делается» [1].

Главное достоинство абстракции через спецификацию состоит в несущественности способа реализации, что позволяет изменять реализацию без внесения изменений в программу.

Основные особенности средства абстракции данных:

1) инкапсуляция описания и представления объектов определяемого типа и описания операций над объектами;

2) защита инкапсулированной информации, так что детали представления не доступны вне определения абстрактного типа.

Средства абстракции данных в языке C++ включают классы, механизм управления доступом, конструкторы и деструкторы, совместное использование операций (перегрузка операций), преобразование типов, полиморфизм, обработку исключительных ситуаций.

Средства отображения иерархии классов непосредственно связаны с объектно-ориентированным программированием, для поддержки которого в языке C++ введены производные классы и виртуальные функции.

2.ПРИМЕРЫ АБСТРАКТНЫХ ТИПОВ ДАННЫХ

Спецификация абстрактных типов данных может быть выполнена на специальном формализованном языке [1]. Приведем примеры абстрактных типов данных, используя неформальный язык.

Пример 1. Опишем понятие стек (stack). Стек представляет собой последовательность элементов некоторого типа, которая характеризуется свойством: "последний вошел – первый вышел" (Last In - First Out) и над которой выполняются следующие операции:

– создать стек;

– положить в стек;

– проверить, пуст ли стек;

– проверить, переполнен ли стек;

– взять элемент, находящийся в вершине стека, удаляя его из стека;

– показать элемент, находящийся в вершине стека, т.е. взять элемент, находящийся в вершине стека, не удаляя его из стека.

Пример 2. Опишем понятие очередь (Query). Очередь представляет собой последовательность элементов некоторого типа, которая характеризуется свойством: "первый вошел – первый вышел" (First In - First Out) и над которой выполняются следующие операции:

– создать очередь;

– послать в очередь;

– проверить, пуста ли очередь;

– проверить, переполнена ли очередь;

– взять элемент.

Пример 3. Опишем понятие вектор (vector). Вектор представляет собой последовательность из n элементов со следующими операциями:

– создать вектор с заданным количеством элементов;

– добавить вектор;

– вычесть вектор;

– присвоить вектор вектору;

– показать вектор.

Пример 4. Опишем понятие полином (polynom). Полином – это алгебраическое выражение вида

$$y = a_0 \cdot x^n + a_1 \cdot x^{n-1} + \ldots + a_{n-1} \cdot x + a_n$$

Это значит, что полином определяется степенью n и последовательностью из n+1 коэффициентов. Над полиномом предусматриваются следующие операции:

– создать полином по заданной степени и коэффициентам;

– прибавить заданный полином;

– вычесть заданный полином;

– взять наибольшую степень полинома;

– взять коэффициент полинома при заданной степени;

– вычислить полином по заданному значению аргумента;

– выдать полином.

Пример 5. Опишем понятие таблицы. Таблица – это последовательность элементов заданной структуры со следующими операциями:

– создать таблицу с заданным количеством элементов;

– выбрать элементы таблицы по условию;

– сортировать таблицу по различным полям;

– показать таблицу.

3. ОБЗОР СРЕДСТВ ОПИСАНИЯ КЛАССОВ

В определении нового типа главное – отделить внешность, которая существенна для его правильного использования, от конкретной реализации, связанной с форматом данных для хранения объекта типа и операций над объектом. Доступ к таким типам ограничен заданным множеством операций (функциями доступа).

Средством определения нового типа в C++ является понятие класса.

3.1. Классы и члены

Класс – это определяемый пользователем тип. Класс специфицирует данные, необходимые для представления объекта этого типа, и множество операций для работы с объектами.

Определение класса имеет две части: закрытую часть (private), содержащую информацию для разработчика, и открытую часть (public), являющуюся интерфейсом для пользователя.

Доступ к объектам класса ограничивается множеством функций, которые описываются в интерфейсной части класса. Такие функции называются *функциями – членами***.** Пользователь может обращаться только к этим функциям.

Опишем тип стек (stack) (пример 1 в разделе 2). Стек будем располагать в динамической памяти. Поэтому элемент стека – это структура, состоящая из информационной части и ссылки на следующий элемент.

```
class  STACK
{  private:
        struct sp
```

```
            {  int inf;
               struct sp *next;
            };
     sp *s;
    public:
CREATE();           //  создать стек
int top();          //  показать элемент
push(int x);        //  добавить элемент
int  pop();         //  взять элемент
int empty();        //  проверить, пуст ли стек
int full();         //  проверить, переполнен  ли стек
};
```

Для того чтобы пользоваться объектом стек, его нужно описать:

```
STACK  st;
```

Объект st создаётся и инициализируется функцией-членом CREATE(), специально описанной для этой цели. При этом пользователь должен не забыть вызвать функцию CREATE():

```
st.CREATE();
```

Но в языке C++ есть более удобный подход, а именно, определяется специальная функция, предназначенная для инициализации объекта. Эта функции называется *конструктором*.

3.2. Конструктор и деструктор

Конструктор – это предписание, как создавать значение данного типа. Конструктор распознается по тому, что имеет то же имя, что и сам класс. Поэтому в примере роль операции создать стек CREATE() выполняет специальная функция STACK(). Функция вызывается автоматически при объявлении объекта типа STACK.

Определяемый пользователем тип всегда имеет конструктор, так как необходимы выделение памяти и инициализация объектов.

Для обеспечения уничтожения объектов используется специальная функция класса, называемая *деструктором*. Когда закончена работа с объектом, автоматически вызывается деструктор.

Деструктор имеет такое же имя, как и класс, только перед ним ставится знак тильды (~).

Для класса STACK деструктором является ~STACK() .

Опишем объект стек с использованием конструктора и деструктора, а также выполним реализацию функций-членов.

Вариант 1.

```
class  STACK
{  private:
     struct sp
        {   int inf;
            struct sp *next;
        };
     sp *s;
    public:
       STACK()  { s=0;}
      ~ STACK()
        { while (s!=0) delete s;}
       int top()
        { return s->inf;
        }

       push(int x)
        { sp *p;
          p=new sp;  p->inf=x; p->next=s;
          s=p;
         }

       int  pop()
       { sp *p;   p=s;
         int r=p->inf; s=p->next;
         delete p;
         return r;
       }
      int empty()
```

```
        { return s==0;
        }
       int full()
        {  sp *p;
           p=new sp;
           if (p!=0)
              {  delete p; return 1; }
             else return 0;
        }
};
```

3.3. Встроенные (inline) функции

Функции-члены, реализованные в классе, являются встроенными (inline). Это значит, что после компиляции в объектном коде программы пользователя вместо вызовов функций-членов будут подставлены уже преобразованные тела функций, т.е. произойдёт макроподстановка. Другими словами нет затрат на вызов функции.

Удобно реализацию функций-членов выполнять вне класса. Но в этом случае описатель inline должен быть указан явно. Следует отметить, что описатель inline эффективно использовать для коротких операций (таких, как в нашем случае со стеком).

Для того чтобы вне класса был доступ к членам класса, используется операция :: разрешения области видимости. Операнд в левой части операции :: должен быть именем класса.

Вариант 2.

```
class  STACK
{  private:
     struct sp
       { int inf;
         struct sp *next;
       };
     sp *s;
```

```
    public:
  STACK()  { s=0;}
  ~STACK()
    { if (s!=0) delete s;}
  int top();
  push(int x);
  int  pop();
  int empty();
  int full();
};

inline int STACK :: top()
 { return s->inf;
 }

STACK :: push(int x)
 { sp *p;
   p=new sp;  p->inf=x; p->next=s;
   s=p;
 }

inline int STACK :: pop()
{ sp *p;
  p=s;
  int r=p->inf;s=p->next;
  delete p;
  return r;
}

inline int STACK :: empty()
{ return s == 0;
};

inline int STACK :: full()
 {  sp *p;
    p=new sp;
    if (p!=0)
       {  delete p; return 1; }
    else return 0;
  };
```

Конструктор и деструктор тоже можно определять вне класса.

Следует отметить, что конструктор не может иметь тип возвращаемого значения. Нельзя вызывать функцию–конструктор в явном виде.

Приведем программу, в которой используется класс стек для решения следующей задачи: проверить правильность расстановки круглых скобок в арифметическом выражении.

Алгоритм анализа скобок заключается в следующем:

– если встретилась левая скобка, то она заносится в стек;

– если встретилась правая скобка, то она выталкивает из стека левую скобку в случае, если стек оказался не пуст, иначе устанавливается ошибочная ситуация;

– если по окончании просмотра арифметического выражения стек пуст, то проверка прошла успешно, иначе устанавливается ошибочная ситуация.

Будем предполагать, что класс STACK находится в заголовочном файле stack.h. Описание этого класса соответствует варианту 1 или варианту 2 с той лишь разницей, что информация в стеке будет символьного типа.

Программа:

```
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <iostream.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include “stack.h”
void main()
{ STACK  a;
 char x;
 int n, i, B;
 char *s;
 cout << "\n vvod  str";
 cin >> s;
 n=strlen(s);
 i=0;  B=1;
while (B && (i<n))
```

```
    {  if (s[i]=='(')  a.push(s[i]);
       if (s[i]==')')
            if (a.empty()) B=0; else x=a.pop();
       i++;
    }
 if  ((B) && (i=n) && (a.empty()) )   cout <<"\n yes";
   else cout <<"\n no";
  getch();
}
```

3.4. Класс vector

Конструктор аналогично другим функциям может иметь параметры. Кроме того, класс может иметь несколько конструкторов.

Рассмотрим класс vector с точки зрения использования различных конструкторов.

Когда объект создается, бывает необходимо присваивать элементам объекта конкретные значения. Это достигается передачей значений в качестве параметров. В классе STACK использовался конструктор без параметра. Конструктор без параметра называется конструктором по умолчанию, конструктор с параметром называется конструктором инициализации. Конструктор с параметром, который имеет тип класса называется копирующим конструктором (*copy–конструктор*). В классе vector используются конструкторы с одним параметром, двумя параметрами и *copy– конструктор*.

```
class vector
  { private:
      int *v;   int s;
    public:
      vector(int s1)
        { s=s1;   v=new int[s];  }
      vector(int _n,int *n);
      vector(const vector &y);
```

```
      ~vector()
          { delete  [ ]v; };
      void   vv_vect();
      void show();
   };

vector::vector(int s1,int *n)
{ s=s1;
  v=new  int[s];
  for(int i=0;i<s;i++)
       v[i]=n[i];
};

vector::vector(const vector &y)
{ s=y.s;
  v=new  int[s];
  for(int i=0;i<s;i++)
   v[i]=y.v[i];
}

void vector::vv_vect()
{ cout<<"\nVvod vectora\n";
  for (int i=0;i<s;i++)
      cin>>v[i];
  cout<<"\nVector vveden\n";
};

void vector::show()
{  for (int i=0;i<s;i++)
          cout<<v[i]<<" ";
};
```

Приведём примеры описания объекта класса vector.

Описание: vector a(n);

К моменту этого описания значение n должно быть определено. Автоматически будет вызван конструктор

vector(int s1);

и вектору a будет выделена память для n значений целого типа.

Описание: vector d(m,y);

Автоматически будет вызван конструктор

vector(int s1,int *n)

и в этом случае вектору d будет выделена память для m значений целого типа и скопированы n значений из области y.

Описание: vector c(a);

Автоматически будет вызван *copy–конструктор*

vector(vector &y)

и элементам вектора c будут присвоены значения элементов вектора a.

Приведем фрагменты использования класса vector.

```
int n,m;
int y[]={6,3,6,5,9};
cout <<"\n  введите  n,m " <<"  ";
cin >> n >> m;
vector  a(n);
a.vv_vect();
a.show();


vector d(m,y);
d.show();
vector c(a);
a.show();
```

3.5. Перегрузка операторов

Определим в классе vector операторы (операции): добавление вектора (символ +), вычитание вектора (символ -) и присваивание вектора (символ =).

```
class vector
    { private:
        int *v;int s;
      public:
```

```
        vector(int s1)
          { s=s1;   v=new int[s];
          }
        vector(int _n,int *n);
        vector( vector &y);
        ~vector()
          { delete []v; };
        void vv_vect();
        void show();
        vector operator+(vector n);
        vector operator-(vector n);
        vector operator=(vector n);

   };
```

Вне класса определим реализацию введённых операторов.

```
vector vector::operator+(vector n)
{
  vector t(s);
  for (int i=0;i<s;i++) t.v[i]=v[i]+n.v[i];
  return t;
};



vector vector::operator-(vector n)
{
  vector t(s);
  for (int i=0;i<s;i++) t.v[i]=v[i]-n.v[i];
  return t;
};

vector vector::operator=(vector n)
{
  if (n.s<s)  s=n.s;
  for (int i=0;i<s;i++) v[i]=n.v[i];
  return *this;
};
```

Приведём фрагмент программы, использующий описанные операторы.

```
a=a-d;
cout<<"\n vect a=a-d  "<<" " ;  a.show();
a=a+d;
cout<<"\n vect a=a+d  "<<" " ;  a.show();
```

Возможно, что для объекта vector естественней было бы использовать вызовы функций, а именно, для операции вычесть a.minus(d), добавить a.add(d).

3.6. Указатель this

Каждой функции–члену передается указатель на объект, для которого она вызвана. Таким указателем является служебное слово this. Доступ к объекту внутри функции – члена производится с помощью этого указателя this.

Служебное слово this используется при перегрузке операций.

Операции сложения и вычитания реализуем, используя указатель this:

```
vector vector :: operator+(vector n)
{ if (n.s<s)  s=n.s;
  for (int i=0;i<s;i++) v[i]= v[i]+n.v[i];
  return *this;
};
vector vector :: operator-(vector n)
{
 if (n.s<s)  s=n.s;
 for (int i=0;i<s;i++) v[i]=v[i]-n.v[i];
 return *this;
};
```

3.7.Дружественные функции-операции

Функции–операции могут быть членами класса или дружественными функциями класса. При объявлении дружественной функции должны передаваться два параметра для бинарных операций и один для унарных операций. Дружественными функциями не могут перегружаться операции присваивания =, индексирования [ ], а также () и –>.

Рассмотрим перегрузку операции сложения + для класса vector с помощью дружественной функции. Описание в классе будет иметь вид:

```
friend vector operator + (vector v1, vector v2);
```

Реализация этой операции вне класса:

```
vector operator + (vector v1, vector v2)
 { int s;
   if  (v1.s<v2.s)   s=v1.s ;   else s=v2.s;
    vector t(s);
    for (int i=0;i<s;i++) t.v[i]=v1.v[i]+v2.v[i];
    return t;
 }
```

3.8. Класс очередь que. Шаблон класса

Средством реализации полиморфизма в языке С++ является шаблон класса. На примере объекта очередь покажем использование шаблона класса: template <class T>.

Это описание указывает на то, что описывается параметризованный тип, имеющий параметром тип Т.

```
template <class T>
```

```
class QUE
{  private:
   struct link
   { T inf;
     link *next;
   };
   link *start,*end;
    public:
   QUE ();
   ~QUE ();
   void add(T elem);
   T get();
   int empty();
};
```

Приведем реализацию введенных операций.

```
template <class T>
QUE <T>:: QUE ()
{  start=end=0;
};
template <class T>
void  QUE <T> :: add(T elem)
{  link *p;
   p=new link;
   p->inf=elem;
   p->next=0;
   if (start==0 && end==0) start=p;
    else end->next=p;
   end=p;
};
template <class T>
T  QUE <T> :: get()
{  link *p;
   T buf;
   p=start;
   buf=p->inf;
   start=start->next;
   delete p;
   return buf;
};
template <class T>
QUE <T>::~ QUE ()
```

```
{  link *p;
   while (start!=0)
      {
       p=start;
       start=start->next;
       delete p;
      };
};
```

Приведем фрагменты программы, использующие класс очередь.

```
QUE <int> ocher;
int x;
scanf("%d",&x);
ocher.add(x);
printf("%d\n",ocher.get());
……
QUE <float> ocher1;
int m;
float y;
scanf("%f",&y);
ocher1.add(y);
printf("%f\n",ocher1.get());
```

Аналогично можно описать параметризованный класс стек или класс вектор.

3.9. Наследование. Производные классы

Наследование является важной особенностью объектно-ориентированных языков. Для того чтобы отобразить иерархические связи, выражающие общность между классами, вводится понятие производного класса.

В языке C++ наследуемый класс называют базовым классом, наследующий класс – производным классом. Производный класс наследует свой-

ства базового класса. Поэтому отношение базовый–производный между классами называется наследованием.

Покажем наследование классов на примере объекта очередь. Пусть нам нужно над последовательностью элементов очереди выполнить дополнительно следующую операцию: определить, есть ли среди элементов нулевые. Основные операции над объектом определены в классе QUE. Это операции: добавить элемент

```
void add(T elem);
```

и взять элемент

```
T get();
```

Для простоты опишем класс очередь QUERY без использования шаблона класса.

```
class QUERY
{  private:
   struct link
   { int inf;
     link *next;
   };
   link *start,*end;
   public:
   QUERY ();
   ~QUERY ();
   void add(int elem);
   int get();
   int empty();
};
```

Для реализации новой операции можно ввести производный класс, ссылаясь на класс QUERY как базовый. Назовем производный класс QUE_0.

```
class   QUE_0 : public  QUERY
 {    public:
      int def_0 ();
 };
```

Вне класса опишем новую операцию:

```
int QUE_0 ::def_0 ()
  { link *p=start;
    while  (p!= end)  and  (p->inf !=0 )
       p=p->next;
    if (p->inf == 0 ) return 1;
    else return 0;
  }
```

Когда один класс наследует другой класс, все элементы, определенные как private в базовом классе, не имеют доступа в производном классе.

Для того чтобы в классе QUE_0 был доступ к данным класса QUERY, необходимо использовать доступ protected. Описание класса QUERY будет иметь вид:

```
class QUERY
{  protected:
   struct link
   { int inf;
     link *next;
   };
   link *start,*end;

   public:
   QUERY();
   ~QUERY();
   void add(int elem);
   int get();
   int empty();
};
```

В нашем примере конструктор базового класса представлен без параметра. В этом случае производный класс может не иметь конструктор.

4. ОБРАБОТКА ИСКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ

4.1. Необходимость обработки исключений

Во время своей работы программа иногда сталкивается с нештатными ситуациями. Например, вызванный метод некоторого объекта может обнаружить у себя внутренние проблемы (неверные значения полей, в результате чего может произойти, например, деление на ноль) или найти ошибки в других объектах или входных данных. Следовательно, необходим некоторый механизм обнаружения и обработки нештатных ситуаций (исключений) в программе.

Когда программа конструируется из раздельных модулей и особенно когда эти модули находятся в независимо разработанных библиотеках, обработка ошибок должна быть разделена на две части:

1) генерация информации о возникновении ошибочной ситуации, которая не может быть разрешена локально;

2) обработка ошибок, обнаруженных в других местах.

Автор библиотеки может обнаружить ошибки времени выполнения, но, как правило, не знает, что делать в этом случае. Пользователь библиотеки может знать, как поступить в случае возникновения ошибок, но не в состоянии их обнаружить (иначе их поиск не перепоручался бы библиотеке). Для помощи в решении подобных проблем в языке C++ введено понятие *исключения*. Фундаментальная идея состоит в том, что функция (метод), обнаружившая проблему, но не знающая, как ее решать, *возбуждает* (throw) исключение в надежде, что вызвавшая её функция (прямо или косвенно) может решить проблему. В функции, которая хочет решать проблемы данного типа, можно указать, что она *перехватывает* (catch) такие исключения.

Такой стиль обработка ошибок предпочтительнее многих традиционных методов. Рассмотрим альтернативы. При обнаружении проблемы, которая не может быть решена локально, программа может:

а) прекратить выполнение,

б) возвратить специальное «ошибочное» значение,

в) возвратить какое-то допустимое значение и оставить программу вненормальном состоянии,

г) вызвать функцию, предназначенную для обработки ошибки.

Вариант а) – прекратить выполнение – это то, что происходит по умолчанию, когда не перехватывается исключение. Библиотечная функция, безусловно завершающая выполнение, не может использоваться в программе, первое требование к которой – надежность.

Вариант б) – возвратить специальное «ошибочное» значение – не всегда выполним, т.к. часто просто нет приемлемого ошибочного значения (например, при возврате целого любое из них может быть приемлемо). Даже когда такой подход применим, он часто неудобен, потому что он вынуждает программиста каждый раз проверять результат на ошибочное значение. Это легко может увеличить размер программы.

Вариант в) – возвратить допустимое значение и оставить программу в ненормальном состоянии – имеет тот недостаток, что вызывающая функция может не заметить, что программа находится в ненормальном состоянии. Например, многие стандартные функции библиотеки С устанавливают значение глобальной переменной errno для индикации ошибки. Однако программы в большинстве случаев не проверяют эту переменную достаточно систематически, чтобы избежать последующих ошибок. Более того, использование глобальных переменных для записи информации об ошибках работает неудовлетворительно при наличии параллельных процессов.

Вариант г) – вызвать функцию, предназначенную для обработки ошибки – возлагает на вызванную функцию решение проблемы одним из перечисленных выше способов.

Механизм обработки исключений предоставляет альтернативу традиционным методам. Он позволяет отделить код обработки ошибок от собственного кода алгоритма, делая программу более понятной и более «чистой». В результате получаем более регулярный способ обработки ошибок, что упрощает взаимодействие между отдельно написанными фрагментами программы.

4.2. Общие принципы обработки исключительных ситуаций в C++

Механизм обработки ситуаций дает способ передачи управления из точки выполнения программы в расположенную выше по управлению точку, в которой определен *обработчик исключений* (exception handler). Главная идея состоит в том, что функция, сталкивающаяся с неразрешимой проблемой, объявит исключительную ситуацию, в надежде на то, что вызвавшая ее (прямо или косвенно) функция может решить проблему. Обработчик ситуации будет вызван только в случае исполнения *выражения-возбуждения-ситуации* внутри так называемого *блока-с-контролем* или в функциях, вызванных из этого блока. В C++ синтаксис возбуждения ситуации выглядит следующим образом:

выражение-возбуждения-ситуации:

throw выражение

Выражение-возбуждения-ситуации в C++ является выражением некоторого типа. *Выражение-возбуждения-ситуации* иногда еще называют точкой возникновения (возбуждения) ситуации (throw-point). О части програм-

мы, в которой исполнилось *выражение-возбуждения-ситуации,* говорят, что в ней возникла ситуация (она возбудила ситуацию).

Рассмотрим, каким образом в C++ можно определить и обработать ошибки диапазона, возникающие в классе Vector.

```
class Vector {
  int* p;
  int* sz;
public:
  class Range { }; // класс ситуаций

  int& operator[] (int i);
  // . . .
};
```

Объекты класса Range предназначены для использования в качестве исключений и возбуждать последние следующим образом:

```
int& Vector::operator[] (int i)
{
  if (0<=i && i<sz) return p[i];
  throw Range();
}
```

В общем случае исключения новых типов следует создавать тогда, когда программист хочет обрабатывать ошибки одного типа и пропускать ошибки других типов.

4.3. Возбуждение ситуации

При возбуждении ситуации управление передается на один из обработчиков ситуации. При этом посылается объект, и тип этого объекта определяет, какой обработчик может перехватить данную ситуацию.

Например, ситуация

```
throw "Help!";
```

может быть перехвачена некоторым обработчиком типа char*:

```
try {
  // . . .
}   catch (const char* p) {
// здесь реакция на ситуацию типа символьной строки
}
```

а ситуация

```
class Overflow {
  // . . .
public: Overflow(char, double, double);
};
void f(double x) {
  // . . .
  throw Overflow('+', x, 3.45e107);
}
```

может быть перехвачена обработчиком

```
try {
  // . . .
  f(1.2);
  // . . .
}   catch (Overflow& oo) {
  // здесь обработчик ситуации типа Overflow
}
```

При возникновении ситуации управление передается на ближайший обработчик соответствующего типа; "ближайший" – тот, в чей *блок-с-контролем* управление попало в последний раз; "соответствующий тип" определяется ниже.

Выражение-возбуждения-ситуации создает временный объект, тип которого статически определяется операндом операции throw, и затем инициализирует им переменную, указанную в описании обработчика.

В C++ *выражение-возбуждения-ситуации* без операнда повторно возбуждает обрабатываемую ситуацию. *Выражение-возбуждения-ситуации* без операнда может появиться только в обработчике исключения или в функции, явно или неявно вызванной из него. Например, код, который нужно выполнить при возникновении какой-либо ситуации, не обрабатывая ее полностью, мог бы быть написан так:

```
  try {
    // . . .
  }
  catch (...) { // перехват ситуации
                // частичная обработка ситуации
    throw;
// передача ситуации некоторому другому обработчику
  }
```

4.4. Обработка исключений

Функция, нуждающаяся в обнаружении возбужденной ситуации, должна поместить вызов функции в *блок-с-контролем* с реакцией на ситуацию. Такой блок имеет следующий синтаксис в C++:

блок-с-контролем:

try { … }

catch (*объявлении-ситуации* 1) { реакция 1 }

catch (*объявлении-ситуации* 2) { реакция 2 }

catch (...) { реакция n }

Например:

```
void f(Vector& v)
 {
  // . . .
  try
  {
    do_something(v);
  }
  catch (Vector::Range)
  {
    // реакция на исключение типа Vector::Range
    // так как do_something() вызвало ситуацию,
    // делаем что-то другое,
    // попадаем сюда только, если обращение к
    // do_something() приводит
    // к вызову Vector::operator[](i) с плохим
    // индексом
  }
    // . . .
}
```

Конструкция

```
  catch (/* . . . */) {  }
```

представляет собой обработчик ситуации. Он может использоваться только сразу за *блоком-с-контролем* или непосредственно за другим обработчиком (если есть несколько обработчиков разных типов).

Многоточие (. . .) в *объявлении-ситуации* дает отождествление для любой ситуации. Обработчик с многоточием, если он есть, должен быть последним в своем *блоке-с-контролем*.

5. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИМЕРОВ

5.1. Класс полином

```
class stp       // Базовый класс
 { protected:
   int n;
   stp(){};
   stp(int st)
     {n=st;}
 };
```

Класс полином poli является производным классом.

```
 class poli: public stp
 { public:
    int *a;
    poli(){};
    poli(int s){ n=s;};
    ~poli()    { delete []a;};
    void cr_poli();
    poli(poli &y);
   int  operator()(int );
   friend poli   operator+ (poli  bb, poli cc);
   poli & operator= (poli bb);
   void prosm();
 };

 poli & poli::  operator= (poli bb)
 { n=bb.n;
   for (int i=0;i<=n;i=i+1) a[i]=bb.a[i];
   return *this;
 };
poli::poli(poli &y)
 { n=y.n;   a=new int[n+1];
    for(int i=0;i<=n;i++)
       a[i]=y.a[i];
 };
```

```
void poli::cr_poli()
 { a=new int[n+1];
   cout<<"введите коэф-ты  "<<n;
    for (int i=0;i<=n;i++)
      cin>>a[i];
  }

int poli:: operator()(int x)
  { int k=n;
    float r;
    r=a[0];
    for (int i=1;i<=k;i=i+1)
      r=r*x+a[i];
    return r;
   }

poli  operator+ (poli bb,poli cc)
  {  int i,k,l;
     k=bb.n; l=cc.n;
     if (k>=l)
      { poli r(k);
        for (i=0;i<=k;i++) r.a[i]=bb.a[i];
        for (i=0;i<=l;i++)
          r.a[k-l+i]=r.a[k-l+i]+cc.a[i];
        return r;
       };
     poli t(l);
     for (i=0;i<=l;i++) t.a[i]=cc.a[i];
     for (i=0;i<=k;i++)
          t.a[l-k+i]=t.a[l-k+i]+bb.a[i];
     return t;
 }
void poli:: prosm()
   { int i;
     for (i=0;i<=n;i++)
        cout <<a[i]<<"  ";
     cout<<"\n";
   } ;
```

5.2. Класс таблица

```
class zap      // Базовый класс
 { protected:
   char fio[31];
   char pr[10];
   int a1;
   public:
   zap(){};
   zap(zap &z)
   { strcpy(fio,z.fio);
     strcpy(pr,z.pr);    a1=z.a1;
   };
    int get(){ return a1;};
    char* get_f()
      { char *s; s=strdup(fio);
        return s;
      };
  void input();
  void output();
 };
 class table : public zap
 {  public:
    zap *a;  int n;
    table(){};
    table(int s){ n=s;};
    ~table()    { delete []a;};
    void cr_table();
    void sort(int t);
    void sort(char t);
    void show();
  };

  void zap:: input()
  {  cout<<"\nVvod fio\n";     cin>>fio;
     cout<<"\nVvod pred\n";    cin>>pr;
     cout<<"\nVvod ball\n";    cin>>a1;
  };

  void zap::output()
  { cout<< fio <<"  "<<pr<<"  "<<a1<<"  ";
```

```
 };
void table :: cr_table()
 { a=new zap [n];
   for(int i=0;i<n;i++)
    a[i].input();
  cout <<"\n таблица создана \n";
 };
void table :: show()
{ int i;
  for(i=0;i<n;i++)
  { a[i].output();
    cout <<"\n ";
  };
};
int SRAVN(int a,int b)
 {  if(a>b) return 1;
    else return 0;
 };
int SRAVN(char a[],char b[])
 { char *u,*v;
   u=strdup(a);v=strdup(b);
   if (strcmp(u,v)>0) return 1;
   else return 0;
 };
void table ::  sort(char t)
{ zap s;  int i,j;
  for (i=n-1;i>0;i--)
  { int k=0;
    for (j=1;j<i;j++)
      if (SRAVN(a[j].get_f(),a[k].get_f()))   k=j;
    s=a[k];a[k]=a[i];a[i]=s;
  }
};
void table ::  sort(int t)
{ zap s;
  int i,j;
  for (i=n-1;i>0;i--)
   { int k=0;
    for (j=1;j<i;j++)
       if (SRAVN(a[j].get(),a[k].get()))   k=j;
    s=a[k];a[k]=a[i];a[i]=s;
   }
```

```
}
```

6. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1) Описать класс «Дробное число со знаком». Число должно быть представлено двумя полями: целая часть – длинное целое число со знаком, дробная часть – беззнаковое короткое целое число. Реализовать арифметические операции сложения, вычитания, умножения, деления и операцию сравнения дробных чисел. Написать текст программы на языке C++, демонстрирующей функционал объектов, порожденных от класса.

2) Описать класс «Деньги» для работы с денежными суммами. Денежная сумма должна быть представлена двумя полями: длинное целое число для рублей и беззнаковое короткое целое число – для копеек. Дробная часть денежной суммы (копейки) при выводе на экран должна быть отделена от целой части запятой. Реализовать сложение сумм, вычитание сумм, деление сумм, деление суммы на дробное число, умножение суммы на дробное число, операцию сравнения сумм и преобразование денежной суммы в символьную строку. Написать текст программы на языке C++, демонстрирующей функционал объектов, порожденных от класса.

3) Описать класс «Трапеция», поля класса – координаты четырех точек на плоскости: координаты – числа с плавающей запятой. Предусмотреть в классе конструктор и методы: проверка, является ли фигура, образованная четырьмя точками трапецией; проверка, является ли фигура, образованная четырьмя точками равнобедренной трапецией, вычисление длины каждой стороны, вычисление периметра трапеции, вычисление площади трапеции. Написать текст программы на языке C++, демонстрирующей функционал объекта, порожденного от класса.

4) Описать класс «Комплексное число», поля класса - действительная и мнимая части комплексного числа являются числами с плавающей запятой и находятся в закрытом разделе класса. Предусмотреть в классе конструктор и методы: присваивание комплексному числу значения, сложение комплексных чисел, вычитание комплексных чисел, умножение комплексных чисел, деление комплексных чисел и преобразование комплексного числа в символьную строку. Написать текст программы на языке C++, демонстрирующей функционал объектов, порожденных от класса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Невская, Е.С. Искусство программирования [Текст]: Учеб. пособие для вузов / Е.С. Невская, А.А. Чекулаева, М.И. Чердынцева – Москва: Вузовская книга, 2002. - 207 с.

2. Страуструп, Б. Язык программирования C++ для профессионалов [Текст] / Б. Страуструп. – Москва: Интернет-Университет Информационных Технологий, 2006. – 568 с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А.Упоров

Методические указания к выполнению лабораторных работ Часть 1

Б1.В.05 МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА В МЕХАТРОНИКЕ И РОБОТОТЕХНИКЕ

Направление -
15.03.06 Мехатроника и робототехника
Профиль -
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрены на заседании кафедры	Рассмотрены методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____ *(подпись)*	Председатель _____ *(подпись)*
Волков Е. Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ СТЕНДА 4
1.1 Назначение стенда 4
1.2 Состав 5
1.3 Технические характеристики стенда 5
2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ 6
2.1 Работа №1. Изучение контроллера ОВЕН ПЛК-160 6
2.2 Работа №2. Основы работы со SCADA-системой 42

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ СТЕНДА

1.1 Назначение стенда

Лабораторный стенд предназначен для изучения программируемого логического контроллера с объектом управления в виде мехатронного модуля – сборки деталей. Стенд позволяет изучить основы построения систем цикловой автоматики. Элементная база мехатронного модуля состоит из ленточного конвейера с электроприводом постоянного тока, модуля подачи базовых деталей, модулей подачи крышек из различного материала, пневматических толкателей и датчиков различного типа.

Внешний вид учебного комплекта представлен ниже (см. Рисунок 1).



Рисунок 1 – Внешний вид стенда ММ-СБ-НН

1.2 Состав

Лабораторный стенд включает в себя следующие компоненты (см. Таблица 1).

Таблица 1

№	Наименование	Кол-во
1	Моноблок, содержащий: источник питания, программируемый логический контроллер, элементы индикации и управления	1 шт.
2	Мехатронный модуль сборки деталей	1 шт.
3	Модуль пульта симуляции	1 шт.
4	Компрессор	1 шт.
5	Ноутбук	1 шт.
7	Комплект кабелей и принадлежностей для проведения лабораторных работ	1 шт.
8	Техническое описание	1 шт.
9	Методические указания к проведению лабораторных работ	1 шт.

1.3 Технические характеристики стенда

Общие технические характеристики типового комплекта учебного оборудования представлены ниже (см. Таблица 2).

Таблица 2

Параметр	Значение
Напряжение электропитания, В	220
Частота питающего напряжения, Гц	50
Потребляемая мощность, ВА	1600
Габаритные размеры, мм	480x600x650
Масса, кг	60 кг
Диапазон рабочих температур	+10…+35 ˚С
Относительная влажность воздуха, не более	80%

2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

2.1 Работа №1. Изучение контроллера ОВЕН ПЛК-160

Цель работы

Научиться составлять простейшие программы на программируемом логическом контроллере ОВЕН

Порядок работы

1. Изучить необходимый теоретический материал.
2. Ознакомиться с конструкцией и назначением элементов лабораторного стенда «Промышленные датчики давления».
3. Подготовить стенд к проведению лабораторной работы.
4. Изучить назначение, технические характеристики ОВЕН ПЛК-160.
5. Изучить основы системы команд и принципы программирования контроллера.
6. Дома при подготовке к работе:

– выполнить синтез системы автоматизации согласно варианту;

– составить программу на языке лестничных диаграмм.

7. В лаборатории:

– освоить графическую среду программного обеспечения CODESYS;

– набрать на компьютере подготовленную дома программу и откомпилировать ее;

– ввести программу в контроллер и убедится в правильности её работы.

Ход работы

В данной лабораторной работе программирование пользовательской задачи реализуется при помощи программного обеспечения CODESYS.

Обучающийся, в соответствии с поставленной задачей, разрабатывает алгоритм автоматизации управления объектом либо в виде логических уравнений, либо в виде схемы алгоритма. Входным, выходным сигналам и внутренним переменным (меркерам) присваиваются адреса в соответствии с конфигурационной таблицей.

Перед проведением лабораторной работы необходимо установить все элементы стенда в исходное состояние. Для этого при выключенном автоматическом выключателе QF1 «Сеть», расположенном на лицевой панели стенда:

– установить в выключенное состояние клавишный переключатель «Питание контроллера»;

– тумблеры блока дискретных входов I1 … I8 перевести в нижнее положение, соответствующее состоянию «Выкл»;

– рукоятку потенциометра PR1 блока аналогового ввода/вывода перевести в крайнее положение против часовой стрелки;

После установки начальных условий необходимо подготовить к работе персональный компьютер и обеспечить его связь со стендом:

– включить персональный компьютер и дождаться загрузки операционной системы Windows;

– подать напряжение на стенд включением автоматического выключателя QF1 «Сеть»;

– подать напряжение на программируемый логический контроллер и датчики включением клавишного выключателя «Питание контроллера», дождаться загрузки ПЛК.

В комплексе используется программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК-160, внешний вид которого представлен на рис. 3. Описание основных элементов ПЛК представлено в таблице 1.

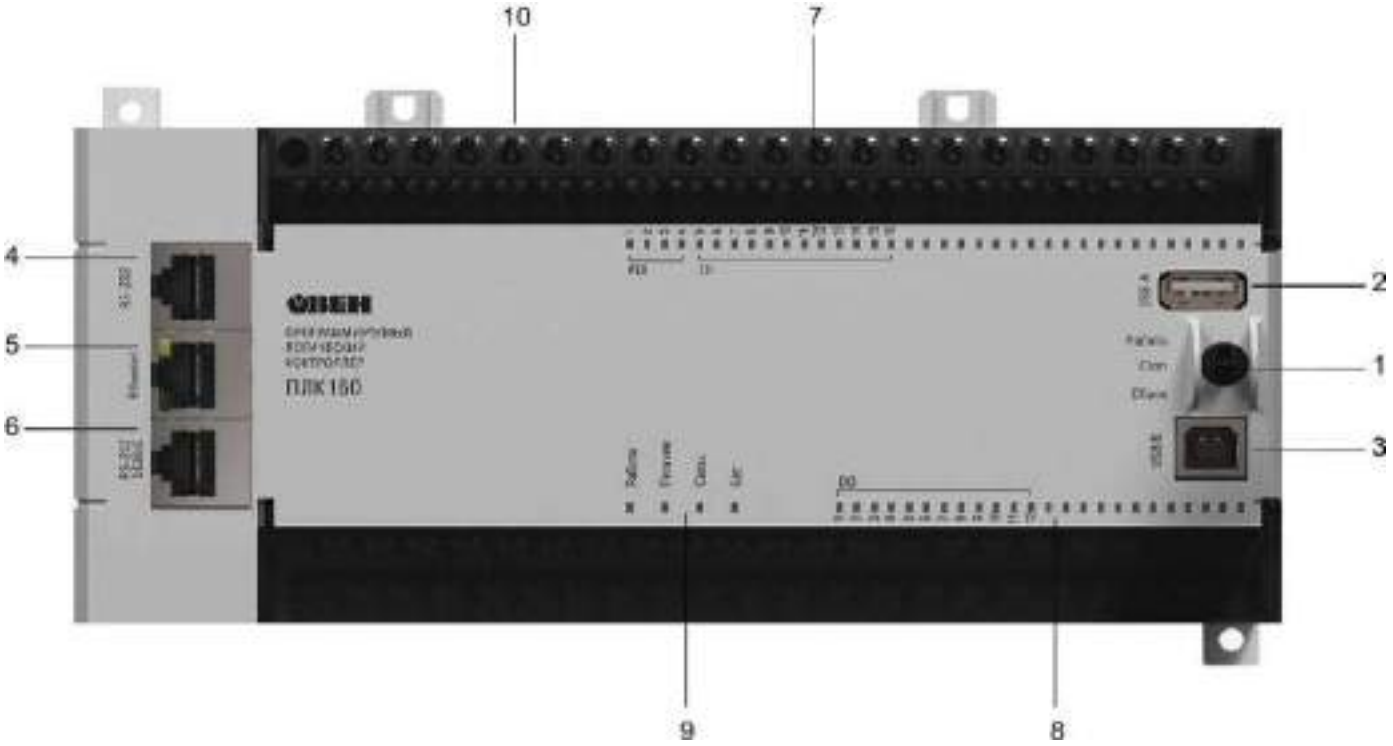


Рис. 3. Внешний вид ОВЕН ПЛК-160

Таблица 1

№ п/п	Элемент	Функциональное назначение
1	Переключатель работа/стоп/сброс	Положения переключателя определяют состояния прибора
2	USB-Host (Разъем USB Type-A)	Порт для подключения USB-flash накопителей
3	USB-Device (Разъем USB Type-B)	Порт для программирования
4	RS-232 Разъем RJ45	Последовательный интерфейс для подключения устройств
5	Ethernet Разъем RJ-45	Порт Ethernet 100 Base-T предназначен для подключения ПЛК в локальные сети, передачи данных и программирования
6	RS-232 Debug (Разъем RJ-45)	Последовательный интерфейс предназначен для подключения устройств и программирования
7	Светодиодные индикаторы состояния входов	FDI – обозначение для быстрых входов контроллера; DI – обычные дискретные входы
8	Светодиодные индикаторы состояния выходов	DO – обычные дискретные выходы
9	Светодиодные индикаторы состояния	Индикация состояния контроллера: «Работа», «Питание», «Связь», «Батарея»
10	Съемные клеммные колодки	Для подключения питания прибора, дискретных датчиков, исполнительных механизмов, аналоговых входов и выходов, интерфейсов RS-485 и клеммы встроенного источника постоянного напряжения 24 В

Описание состояний ПЛК, индицируемых светодиодами «Работа», «Питание», «Связь», «Батарея» представлены в табл. 2 и основные параметры в табл. 3.

Таблица 2

Индикатор	Состояние индикатора	Описание
«Работа»	Слабо светится	Ядро ОС еще не загрузилось после включения питания контроллера
	Мигает раз в 500 мс	Ядро ОС повреждено (не совпадает контрольная сумма)
	Мигает раз в 200 мс	Перегрузка центрального процессора
	Светится	Ядро ОС загружено успешно, программа CODESYS загрузилась и запустилась
	Не светится	Программа CODESYS не работает, остановлена или не загружена
«Питание»	Светится	Наличие питания у контроллера
	Не светится	Отсутствие питания у контроллера
«Связь»	Светится	Наличие связи с CODESYS
	Не светится	Отсутствие связи с CODESYS
«Бат.»	Светится	Необходимо заменить батарейку
	Не светится	Батарейка не требует замены

«FDI», «DI»	Светится	Соответствующий вход замкнут
	Не светится	Вход разомкнут
«DO»	Светится	Соответствующий выход замкнут
	Не светится	Выход разомкнут

Таблица 3

Параметр	Значение
Модель	ПЛК-160
Размеры, Ш х В х Г	208 х 110 х 83 мм
Потребляемая мощность, не более	45 ВА
Напряжение питания	от 90 до 264 В переменного тока (номинальное 120/230 В) частотой от 47 до 63 Гц (номинальное значение 50 Гц)
Встроенные цифровые входы/выходы	16 входов / 12 выходов
Встроенные аналоговые входы/выходы	8 входов / 4 выхода
Центральный процессор	RISC-процессор Texas Instruments Sitara AM1808
Объем оперативной памяти	Пользовательская программа 1 Мбайт, данные пользовательской программы 128 Кбайт, heap до 4 Мбайт в зависимости от использования ресурсов (сокеты, конфигурация и др.) (SDRAM), RAM-диск 8 Мбайт
Объем энергонезависимой памяти (FLASH)	6 Мбайт доступно для хранения файлов и архивов
Размер Retain-памяти (MRAM)	16 Кбайт
Количество сокетов	30
Время выполнения пустого цикла	Установленное по умолчанию (стабилизированное) – 1 мс (настраивается в окне «Конфигурация ПЛК (PLC Configuration) CODESYS». Настоятельно не рекомендуется устанавливать время цикла, равное 0 мс
Интерфейсы связи	RS-485, RS-232, RS-232 Debug, Ethernet 100 Base-T, USB-Device, USB-Host

Ниже представлены схемы подключения входных и выходных цепей ОВЕН ПЛК -160 (рис. 4).

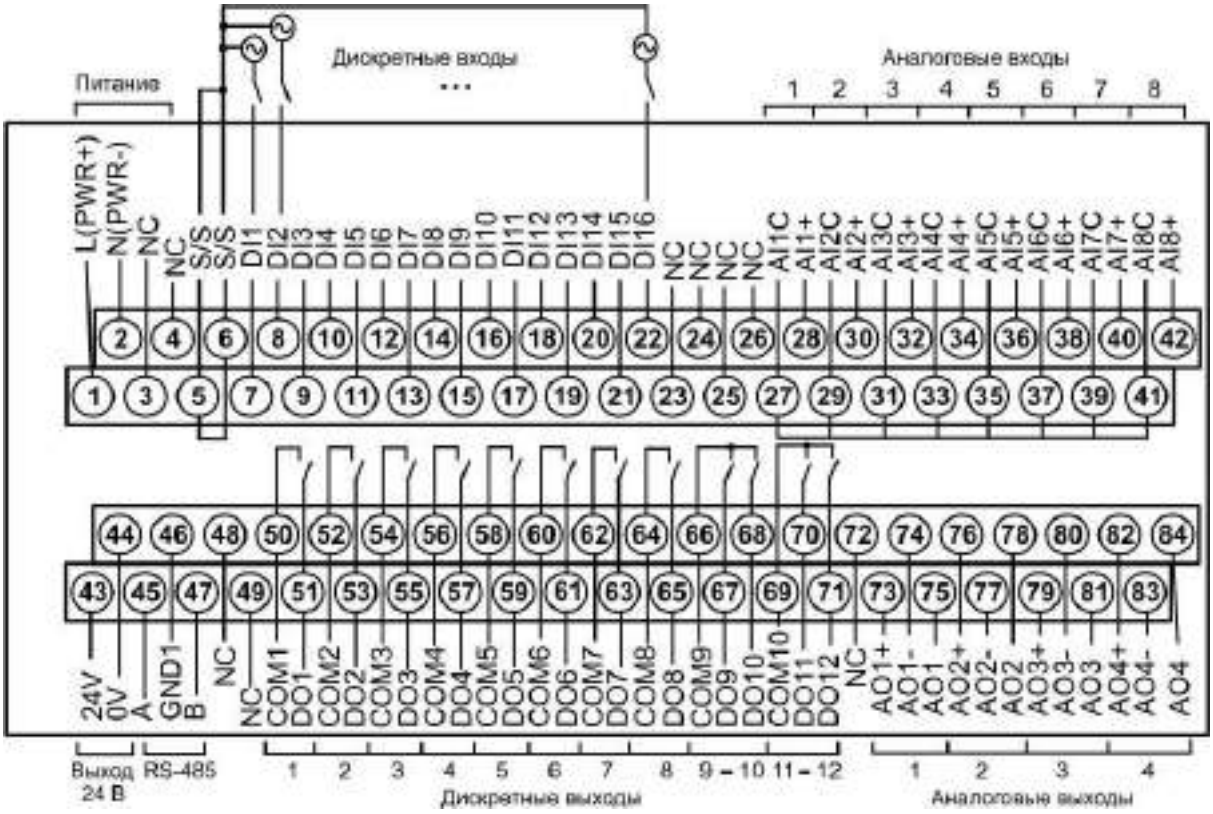


Рис. 4. Схемы подключения входных и выходных цепей контроллера ПЛК-160

Технические характеристики входных и выходных цепей контроллера представлены в табл.4.

Таблица 4

Параметр	Значение
Дискретные входы	
Количество входов из них быстродействующих	16 4 (DI1–DI4)
Тип входов по ГОСТ Р 52931	1 и 2
Напряжение питания дискретных входов	24 ± 3 В
Максимальный входной ток дискретного входа, не более	7 мА при питании 24 В, 8,5 мА при питании 27 В
Сигнал «логической единицы», соответствующий состоянию «Включено», дискретных входов для постоянного напряжения (ток в цепи)	От 15 до 30 В (ток от 3 до 15 мА)
Сигнал «логического нуля», соответствующий состоянию «Выключено», дискретных входов для постоянного напряжения (ток в цепи)	От минус 3 до 5 В (ток до 15 мА)

Минимальная длительность импульса, воспринимаемого дискретным входом:	
для обычных входов	1 мс
для быстродействующих	0,02 мс
Подключаемые входные устройства	Коммутационные устройства (контакты кнопок, выключателей, герконов, реле и т. п.),
	датчики, имеющие на выходе транзистор n-p-n или p-n-p типа с открытым коллектором,
	дискретные сигналы 24 ± 3 В
Аналоговые входы	
Количество аналоговых входов	8
Тип поддерживаемых унифицированных сигналов	Ток от 0 (4) до 20 мА, ток от 0 до 5 мА, напряжение от 0 до 10 В
Разрядность АЦП	14 бит
Входное сопротивление, не более:	
в режиме измерения тока	170 Ом
в режиме измерения напряжения, не менее	200 кОм
Период опроса одного входа	10 мс
Предел основной приведенной погрешности преобразования	± 0,25 %
Предел дополнительной приведенной погрешности преобразования на каждые 10 градусов изменения температуры	± 0,05 %
Дискретные выходы	
Количество релейных выходных каналов	12
Максимальный ток, коммутируемый контактами реле, не более	3 А (для переменного напряжения не более 250 В, частотой 50 Гц и cos φ > 0,4 – нагрузка для категории использования АС-15 по ГОСТ IEC 60947-1), 3 А (для постоянного напряжения не более 30 В – нагрузка для категории использования DC-13 по ГОСТ IEC 60947-1)
Время переключения контактов реле из состояния «лог. 0» в «лог. 1» и обратно, не более	50 мс (выходы DO1–DO12)
Механический ресурс реле, не менее	300 000 циклов переключений при максимальной коммутируемой нагрузке, 500 000 циклов переключений при коммутации нагрузки менее половины от максимальной

Аналоговые выходы			
Количество аналоговых выходов	4		
Тип выходного сигнала	Универсальный, ток от 4 до 20 мА, напряжение от 0 до 10 В	Напряжение от 0 до 10 В	Ток от 4 до 20 мА
Сопротивление нагрузки	Не более 500 Ом для 4…20 мА, не менее 2000 Ом для 0…10 В	Не менее 2000 Ом	Не более 500 Ом
Предел основной приведенной погрешности ЦАП	± 0,5 %		
Разрядность ЦАП	12 бит	10 бит	10 бит
Минимальный период обновления выходов	100 мс		
Питание аналоговых выходов, внешнее	24 ± 3 В, длина линии от источника питания не должна превышать 30 м		
Предел допускаемой дополнительной приведенной погрешности аналоговых выходов, вызванной изменением температуры окружающего воздуха от нормальной на каждые 10 °С изменения температуры	Не более 0,5 предела допускаемой основной приведенной погре		

Для более подробного изучения технических характеристик следует обратиться к технической документации на изучаемый программируемый логический контроллер.

Для имитации пульта оператора используется блок дискретного ввода, который содержит 8 двухпозиционных переключателей DI1 – DI8, подсоединенных ко входам ПЛК DI1 – DI8 соответственно.

Индикация включенного состояния выходных цепей ПЛК осуществляется за счет блока дискретного вывода, который содержит 8 светодиодов DO1 – DO8, подсоединенных к выходам ПЛК DO1 – DO8 соответственно.

Для включения питания модуля используется кнопка с фиксацией и подсветкой.

Основы программирования ПЛК

Для подготовки программ при проведении лабораторных работ служит среду программного обеспечения *CoDeSys*. Для запуска программы необходимо на рабочем столе *Windows* дважды щелкнуть курсором мыши по соответствующему ярлыку.

После этого откроется пустое окно программы *CoDeSys* (рис. 5), в котором можно создать новый проект или открыть уже созданный проект.

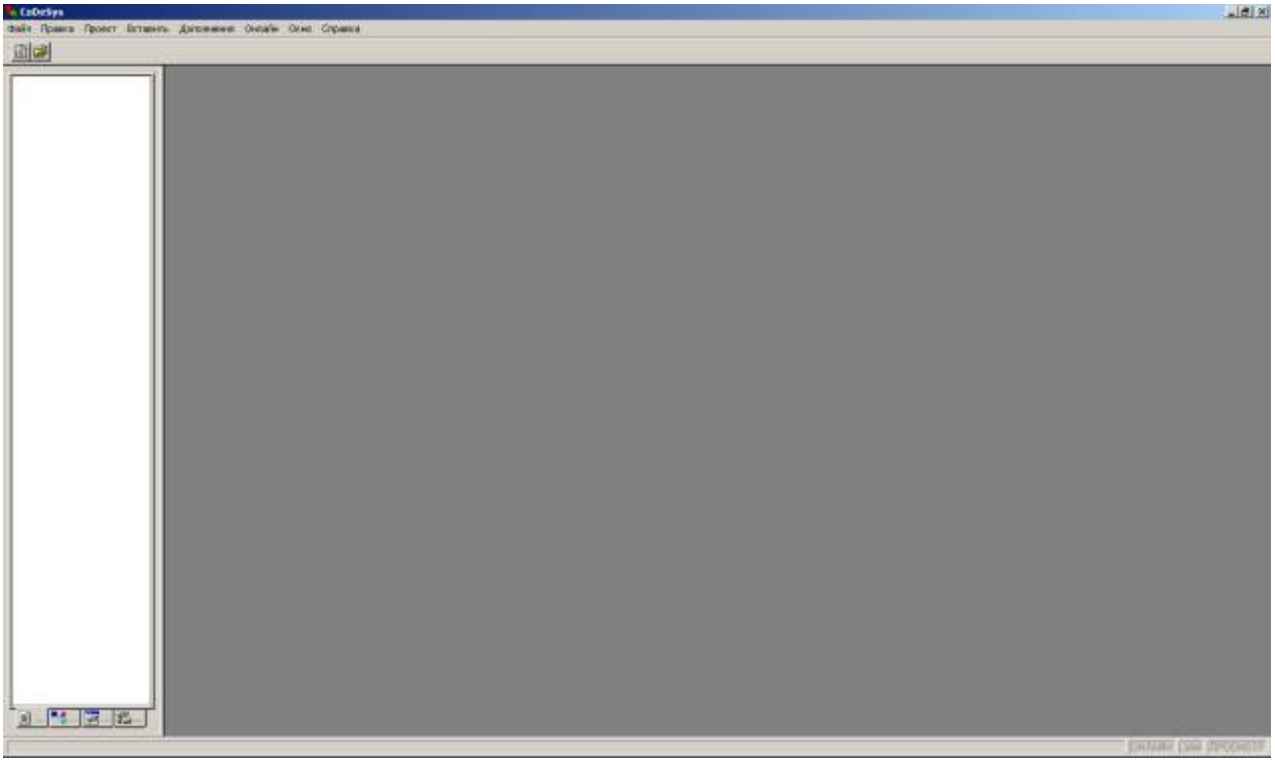


Рис. 5. Стартовое окно *CoDeSys*

Для создания нового проекта необходимо в выпадающем меню «Файл» выбрать пункт «Создать», после чего появится окно конфигурирования проекта «Настройка целевой платформы» (рис. 6). В выпадающем списке вариантов конфигурации (*target*-файлов) выбрать используемый в стенде контроллер ПЛК-160. *Target*-файл содержит информацию о ресурсах контроллера: количестве и типах входов и выходов, интерфейсов, памяти, дополнительных устройствах и т.д., с которыми работает программная среда *CoDeSys*. После выбора контроллера появится окно общих настроек выбранного ПЛК (рис. 7), в котором необходимо выставить те же параметры, которые представлены на рисунке. После завершения настройки необходимо нажать «ОК».

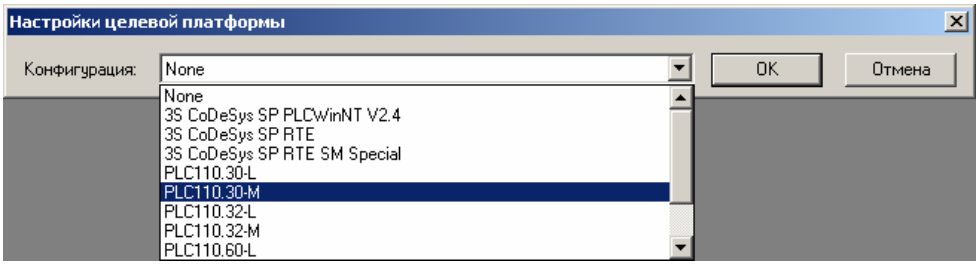


Рис. 6. Окно выбора контроллера

После конфигурирования проекта откроется окно настройки программных компонентов (POU) проекта (рис. 8), в котором выбирается имя и тип POU, а также язык реализации управляющей программы. После завершения настройки также необходимо нажать «ОК».

CoDeSys поддерживает следующие программные компоненты (POU):

1) программный блок (PRG);

2) функциональный блок (FB);

3) функция (FC).

CoDeSys поддерживает следующие языки программирования:

1) текстовые: список инструкций (IL) и структурированный текст (ST);

2) графические: язык последовательных функциональных схем (SFC), язык функциональных блоковых диаграмм (FBD), язык релейных диаграмм (LD)

Кроме того, CoDeSys включает поддержку основанного на языке FBD редактора непрерывных функциональных схем (CFC).

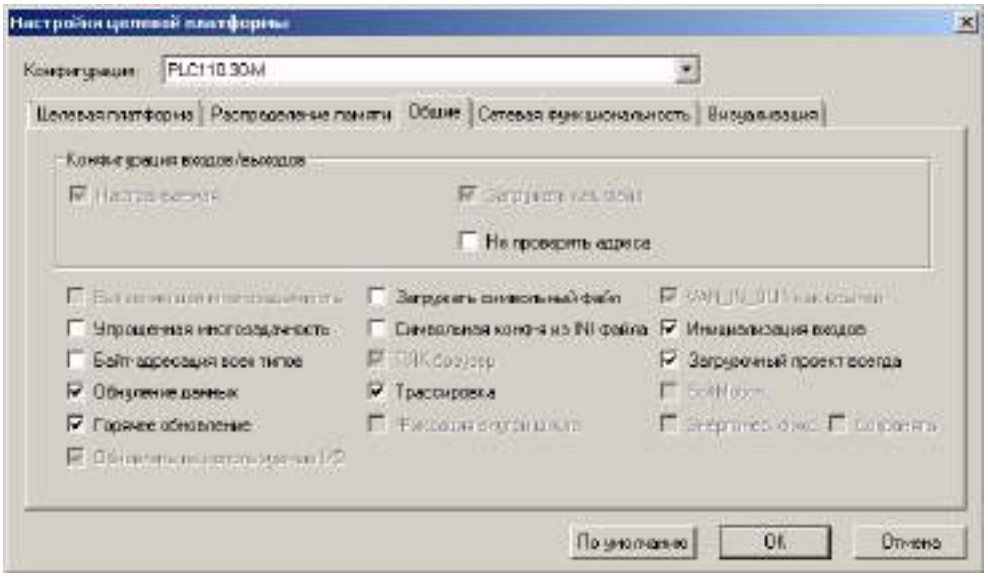


Рис. 7. Окно настройки параметров контроллера



Рис. 8. Окно настройки *POU* проекта

В CoDeSys введено несколько языков для того, чтобы пользователь мог применить язык, наиболее удобный для него: программисты выбирают язык IL или ST, специалисты, имеющие опыт работы с релейной логикой, выбирают язык LD, специалисты по системам автоматического управления (САУ) и схемотехнике выбирают привычный для них язык FBD.

Выбор одного из шести языков определяется не только предпочтениями пользователя, но и смыслом решаемой задачи:

Если исходная задача формулируется в терминах последовательной обработки и передачи сигналов, то для нее проще и нагляднее использовать язык FBD. Если задача описывается как последовательность срабатываний контактов и реле, то для нее нагляднее всего будет язык LD. Для задач, которые изначально формулируются в виде сложного разветвленного алгоритма, удобнее будет язык ST.

В результате конфигурирования откроется рабочее окно программы (рис. 9).

Всю рабочую область программы можно условно разделить на несколько частей:

- I – окно менеджера проекта;
- II – область объявления переменных проекта;
- III – рабочая область;
- IV – панели инструментов;
- V – окно сообщений;
- VI – строка состояния.

В менеджере проекта все настройки проекта распределены по четырем закладкам:

1) Менеджер программных компонентов (*POU*). В данной закладке можно редактировать текущие или добавлять новые компоненты (программы, блоки, функции).

2) Менеджер данных. В данном окне есть возможность добавлять и редактировать уже созданные базы данных проекта.

3) Менеджер визуализаций. В этой закладке есть возможность управления (создание и редактирование свойств) экранов для системы визуализации.

4) Менеджер ресурсов ПЛК объединяет ряд меню, необходимых для конфигурирования свойств ПЛК: различные библиотеки, конфигураторы контроллера, задач и тревог, менеджеры библиотек и параметров и ряд других.

В рабочей области проекта производится непосредственно набор управляющей программы.

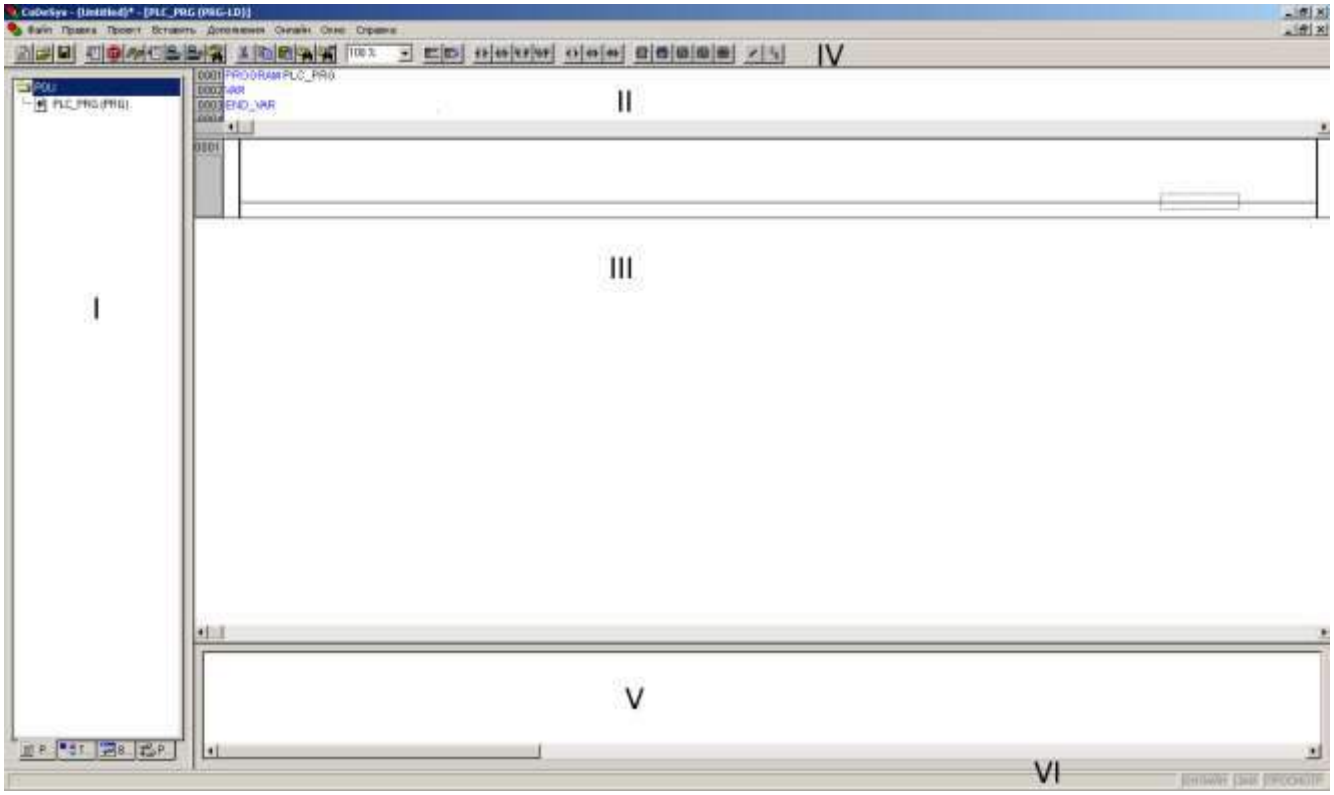


Рис. 9. Рабочее окно программы *CoDeSys* 2.3

Панель инструментов (рис. 10) используется для создания пользовательской управляющей программы, также компиляции, отладки и загрузки проекта в память ПЛК.



Рис. 10. Панель инструментов

При выборе в окне настроек различных языков программирования, например *LD*, *FBD* и *SFC*, панель инструментов принимает различный вид. В табл. 5 представлено краткое описание функций, доступ к которым осуществляется с панели инструментов при программировании на языке *LD*, а также представлены пиктограммы панели инструментов для других языков МЭК: *FBD* и *SFC*.

Таблица 5

Язык	**№ п/п**	**Пиктограмма**	**Описание**
LD	1		Вставка нового сегмента до текущего сегмента
	2		Вставка нового сегмента после текущего сегмента
	3		Вставка замыкающего контакта
	4		Вставка размыкающего контакта

Язык	№ п/п	Пиктограмма	Описание
	5		Вставка параллельного замыкающего контакта
	6		Вставка параллельного размыкающего контакта
	7		Вставка выходной катушки
	8		Установка состояния *SET* обмотки выходного реле
	9		Установка состояния *RESET* обмотки выходного реле
	10		Установка функционального блока
	11		Установка функционального блока со входом *EN*
	12		Установка детектора переднего фронта
	13		Установка детектора заднего фронта
	14		Установка таймера *TON*
	15		Установка инверсии
	16		Установка функции *SET/RESET* на обмотке выходного реле
FBD	1		Добавление входа в функциональный блок
	2		Добавление выхода из функционального блока
	3		Добавление элемента схемы (функционального блока)
	4		Присваивание
	5		Переход
	6		Возврат
	7		Инверсия
	8		*SET/RESET*
SFC	1		Шаг-переход (сверху)
	2		Шаг-переход (снизу)
	3		Альтернативная ветвь (справа)
	4		Альтернативная ветвь (слева)
	5		Параллельная ветвь (справа)
	6		Параллельная ветвь (слева)
	7		Безусловный переход
	8		Переход – безусловный переход
	9		Использовать МЭК-шаги

Далее в соответствии с поставленной задачей необходимо разработать алгоритм автоматизации управления объектом либо в виде логических уравнений, либо в виде схемы алгоритма.

Разработчик присваивает входным, выходным сигналам и внутренним переменным адреса в соответствии с конфигурацией контроллера.

Адресация контроллера имеет следующие особенности:

– прямое указание адреса дает способ непосредственного обращения к конкретной области памяти;

– использование области памяти через объявленную особым образом переменную (входную, выходную или локальную).

Прямой адрес образуется из префикса «%», префиксов области памяти и размера, одного или нескольких целых чисел, разделенных точкой.

Префиксы области памяти: *I* – входы, *Q* – выходы, *M* – память данных.

Префиксы размера: *X* – один бит, *B* – байт (8 бит), *W* – слово (16 бит), *D* – двойное слово (32 бит).

Примеры:

1) %*QX*7.5 и %*Q*7.5 – бит 7.5 в области выходов;
2) %*IW*215 – 215-е слово в области входов;
3) %*QB*7 – байт 7 в области выходов;
4) %*MD*48 – двойное слово в позиции памяти 48;
5) %*IW*2.5.7.1 – зависит от конфигурации ПЛК;

По умолчанию конфигурация ПЛК имеет вид, представленный в табл. 6.

Таблица 6

Входные сигналы				**Выходные сигналы**			
Адрес ПЛК	Адрес пользователя	Адрес ПЛК	Адрес пользователя	Адрес ПЛК	Адрес пользователя	Адрес ПЛК	Адрес пользователя
%*IX*0.0	*I*1	%*IX*1.0.6	*I*9	%*QX*2.0	*Q*1	%*QX*3.0.2	*Q*7
%*IX*0.1	*I*2	%*IX*1.0.7	*I*10	%*QX*2.1	*Q*2	%*QX*3.0.3	*Q*8
%*IX*1.0.0	*I*3	%*IX*1.1.0	*I*11	%*QX*2.2	*Q*3	%*QX*3.0.4	*Q*9
%*IX*1.0.1	*I*4	%*IX*1.1.1	*I*12	%*QX*2.3	*Q*4	%*QX*3.0.5	*Q*10
%*IX*1.0.2	*I*5	%*IX*1.1.2	*I*13	%*QX*3.0.0	*Q*5	%*QX*3.0.6	*Q*11
%*IX*1.0.3	*I*6	%*IX*1.1.3	*I*14	%*QX*3.0.1	*Q*6	%*QX*3.0.7	*Q*12
%*IX*1.0.4	*I*7	%*IX*1.1.4	*I*15				
%*IX*1.0.5	*I*8	%*IX*1.1.5	*I*16				

Ниже рассматривается пример программирования на языке *LD*.

При программировании на языке *LD* в виде релейно-контактной схемы программа разделяется на сегменты. Каждый сегмент представляет собой отдельную цепь, по которой может протекать ток. Шина питания находится слева (вертикальная линия). Таким образом, каждому логическому уравнению соответствует свой сегмент.

По умолчанию в блоке *PLC_PRG* (*PRG*) уже есть пустой шаблон сегмента. Для создания нового сегмента необходимо на панели инструментов нажать пиктограмму  «Цепь (Перед)» или  «Цепь (После)»

Рассмотрим ввод программы на языке лестничных диаграмм **(*LD*)** для реализации простого уравнения:

$Q0 = I1 \cdot \overline{I2} + I3$

В адресах контроллера это уравнение примет следующий вид:

$\%QX\,2.0 = \%IX\,0.0 \cdot \overline{\%IX\,0.1} + \%IX1.0.0$

1) Установить в токовую цепь (сегмент) обмотку (рис. 11а). Для этого нажать на кнопку  .

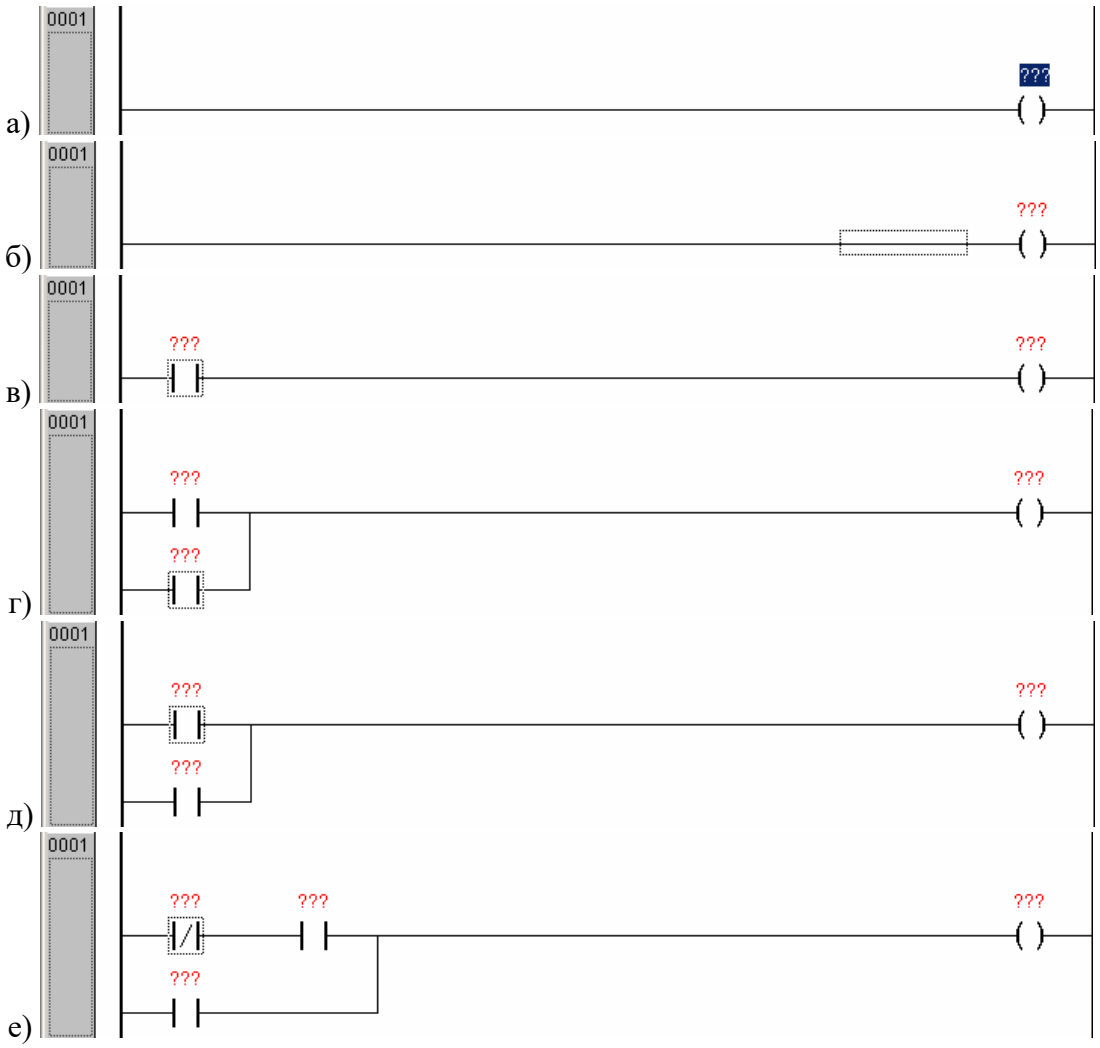


Рис. 11.

2) Щёлкнуть по тому месту (непосредственно по линии), куда нужно установить замыкающий (нормально открытый) контакт (рис. 11б).

3) Вставить замыкающий контакт, нажав на пиктограмму  (рис. 11в).

4) Вставить параллельный замыкающий контакт, нажав на пиктограмму  (рис. 11г).

5) Выделить место, куда необходимо поставить нормально замкнутый (размыкающий) контакт (рис. 11д).

6) Вставить размыкающий контакт, нажав на пиктограмму  (рис. 11е).

7) Теперь необходимо ввести адреса контактов. Для этого щёлкнуть по знакам ??? над контактом и ввести адрес (ввод адреса завершается нажатием клавиши «ENTER» рис. 12).



Рис. 12.

Для удобства пользователя при разработке программы доступна символьная адресация. Для этого предварительно необходимо в окне задания переменных проекта объявить переменные.

Для этого необходимо выбрать элемент на схеме, ввести имя переменной и нажать «*ENTER*». В открывшемся окне необходимо выбрать класс, тип, адрес переменной и нажать «ОК» (рис. 13). После объявления всех входных и выходных переменных программа примет следующий вид (рис. 14), а окно задания переменных – рис. 15.

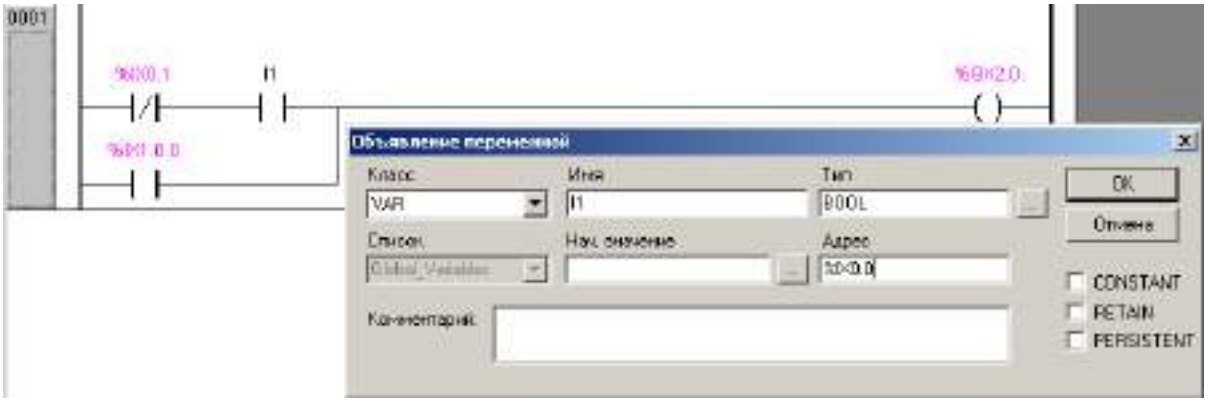


Рис. 13.



Рис. 14.

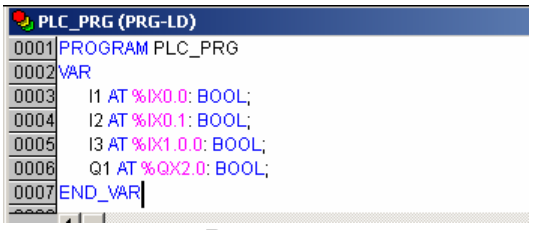


Рис. 15.

Для удаления какого-либо элемента программы необходимо его выделить и нажать на клавиатуре клавишу *Delete*. Для отмены предыдущего действия необходимо выбрать в меню «Правка» пункт «Отменить».

В случае некорректного ввода адреса или символического имени программа высвечивает некорректное обозначение красным цветом.

После ввода программы необходимо скомпилировать ее. Для этого в выпадающем меню «Проект» необходимо выбрать пункт «Компилировать», либо нажать «быструю» клавишу *F*11. Лог компиляции программы будет выведен в окно сообщений. Если программа набрана правильно (рис. 16а), то последняя строка будет вида: 0 ошибок, 0 предупреждений. В том случае, если в программе будут найдены ошибки (рис. 16б), то они будут выделены в логе красным цветом. Также в последней строке будет: *X* ошибок, *X* предупреждений. После исправления ошибок необходимо еще раз откомпилировать программу. После компиляции программа готова к загрузке в память ПЛК.

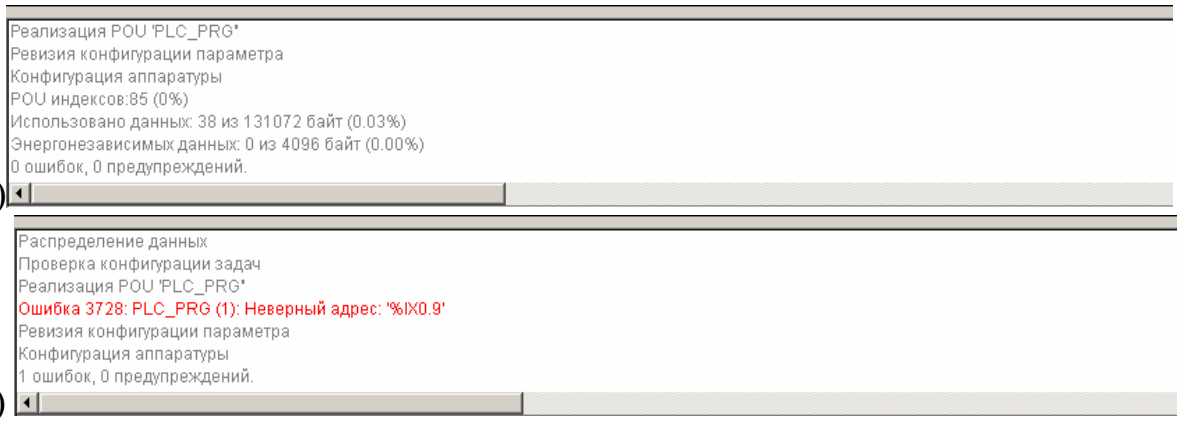


Рис. 16. Примеры сообщений при проведении компиляции пользовательской программы

Далее необходимо рассмотреть реализацию этого же логического уравнения ($Q0 = I1 \cdot \overline{I2} + I3$) на других языках:

1) **на языке инструкций (*IL*)** программа будет иметь достаточно простой и понятный вид:

LDN %*IX*1.0.0 (загрузить инверсный контакт)
AND %*IX*0.0 (загрузить контакт)
OR %*IX*0.1 (загрузить параллельный контакт)
ST %*QX*2.0 (результат выдать на обмотку)

2) разработка программы **на языке функциональных блоковых диаграмм (*FBD*)** ведется в следующей последовательности:

– в свойствах проекта настроить язык программирования *FBD*;

– на панели инструментов левой клавишей мыши нажать пиктограмму  . На рабочем поле в новом сегменте должно появиться изображение элемента (рис. 17а), В поле названия элемента указать тип элемента *AND* (И);

– около входов элемента указать адреса %*IX*0.0 и %*IX*0.1 сверху вниз соответственно;

– на входе, соответствующем адресу %*IX*0.1, нажать правую клавишу мыши и выбрать пункт «Инверсия» (рис. 17б);

– установить курсор на выходной части элемента И;

– левой клавишей мыши нажать пиктограмму  . В поле названия элемента указать тип элемента *OR* (ИЛИ), напротив свободного входа указать адрес %*IX*1.0.0 (рис. 17в);

– установить курсор на выходной части элемента *OR* (ИЛИ);

– левой клавишей мыши нажать пиктограмму  . В сформировавшемся выходе необходимо указать адрес %*QX*2.0. Программа примет итоговый вид (рис. 17г).

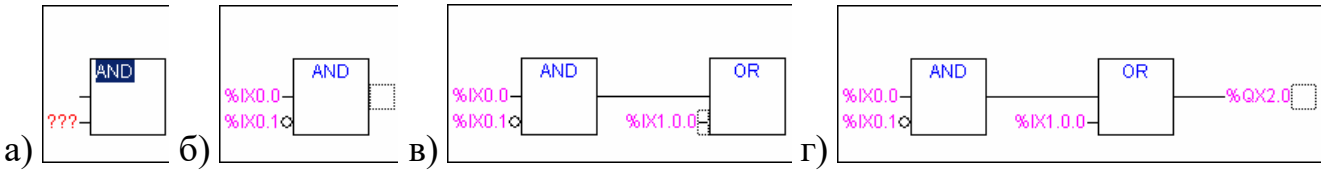


Рис. 17. Программа на языке *FBD*

Далее рассматривается вставка функции на примере создания следующей программы: если кратковременно включить тумблер *I*1 (адрес *IX*0.0), то включится выход *Q*1 (адрес *QX*2.0), если кратковременно включить тумблер *I*2 (адрес *IX*0.1), то выход *Q*1 выключится. Для этого воспользуемся функцией *SR*-триггера:

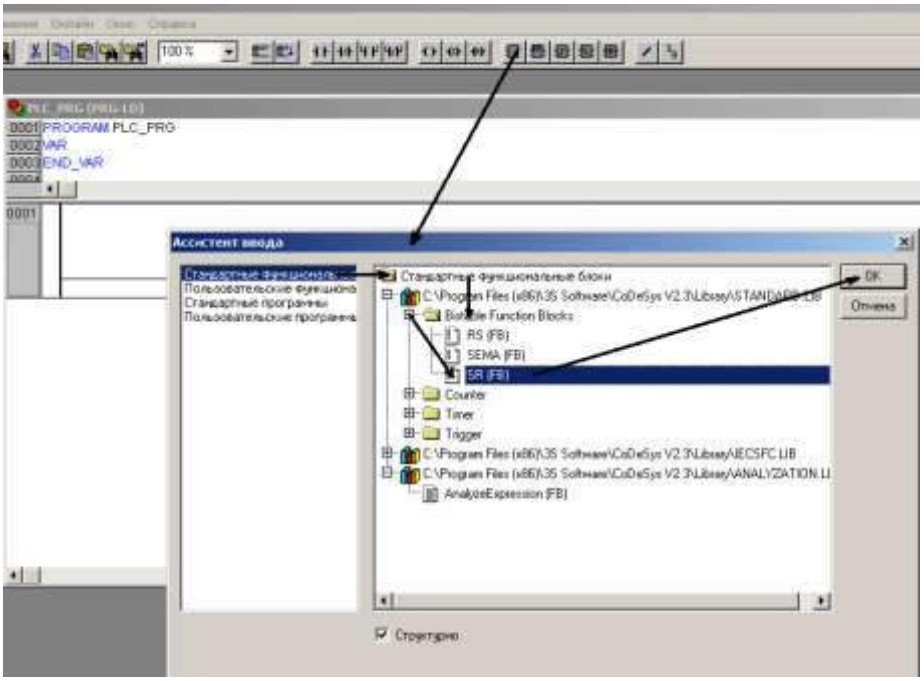
1) установить выходную обмотку с адресом %*QX*2.0, установить контакт с адресом %*IX*0.0;

2) установить курсор в новом сегменте. Левой клавишей мыши на панели инструментов нажать пиктограмму  . В появившемся окне (рис. 18а) в закладке «Стандартные функциональные блоки» раскрыть библиотеку «*STANDART*». В открывшемся перечне раскрыть закладку «*Bistable Function Blocks*», в которой выбрать функциональный блок *SR*, после чего нажать «ОК». В сегменте установится блок *SR*-триггера (рис. 18б);

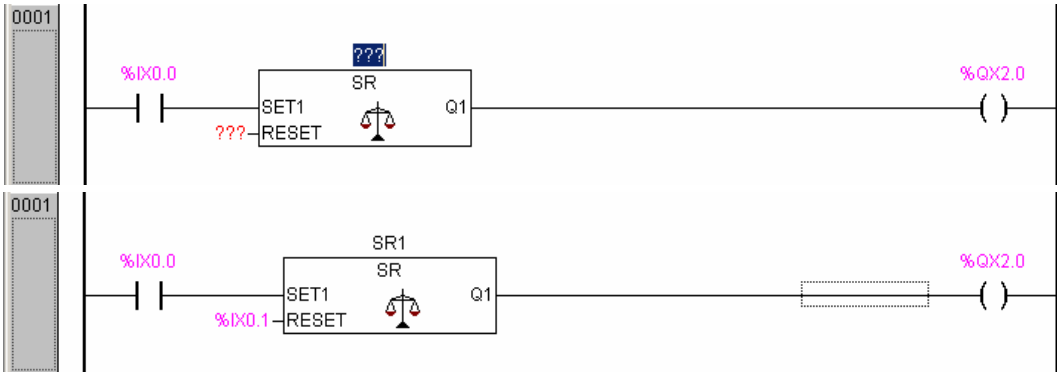
3) в поле ??? над блоком вписать название блока *SR*1;

4) во входной цепи *RESET* на месте ??? установить адрес %*IX*0.1. Программа примет следующий вид (рис. 18в).

а)



б)



в)

Рис. 18. Пример использования функциональных блоков в лестничных диаграммах

3. Для программирования контроллера ПЛК160 доступно 4 вида таймеров:

– таймер-формирователь импульса (*TP*);
– таймер с задержкой включения (*TON*);
– таймер с задержкой выключения (TOF);
– часы реального времени (RTC).

В табл. 7 представлены примеры реализации таймеров на языках IL и ST.

На рис. 19 представлено графическое изображение блоков таймеров, используемое в языке *FBD*. Блок, реализующий таймер, имеет следующие входы и выходы: *IN* – вход запуска, *EN* – вход разрешения, *PT* – уставка (заданное время), *Q* – выход (состояние таймера), *ET* – оставшееся время.

Для задания уставки времени используется идентификатор *T#*. Уставку времени можно задать в *BCD*-коде с использованием следующего синтаксиса:

T#AAd_BBh_CCm_DDs_EEEms,

где *AA* = сутки, *BB* = часы, *CC* = минуты, *DD* = секунды и *EEE* = миллисекунды.

Таблица 7

	Пример объявления	Пример IL	Пример ST
TP	*TPInst: TP*	*CAL TPInst(IN := VarBOOL1, PT := T#5s)* *LD TPInst.Q* *ST VarBOOL2*	*TPInst(IN := VarBOOL1, PT:= T#5s);* *VarBOOL2 :=TPInst.Q*
TON	*TONInst: TON*	*CAL TONInst(IN := VarBOOL1, PT := T#5s)* *LD TONInst.Q* *ST VarBOOL2*	*TONInst(IN := VarBOOL1, PT:= T#5s)*
TOF	*TOFInst: TOF*	*CAL TOFInst(IN := VarBOOL1, PT := T#5s)* *LD TOFInst.Q* *ST VarBOOL2*	*TOFInst(IN := VarBOOL1, PT:= T#5s);* *VarBOOL2 :=TOFInst.Q*

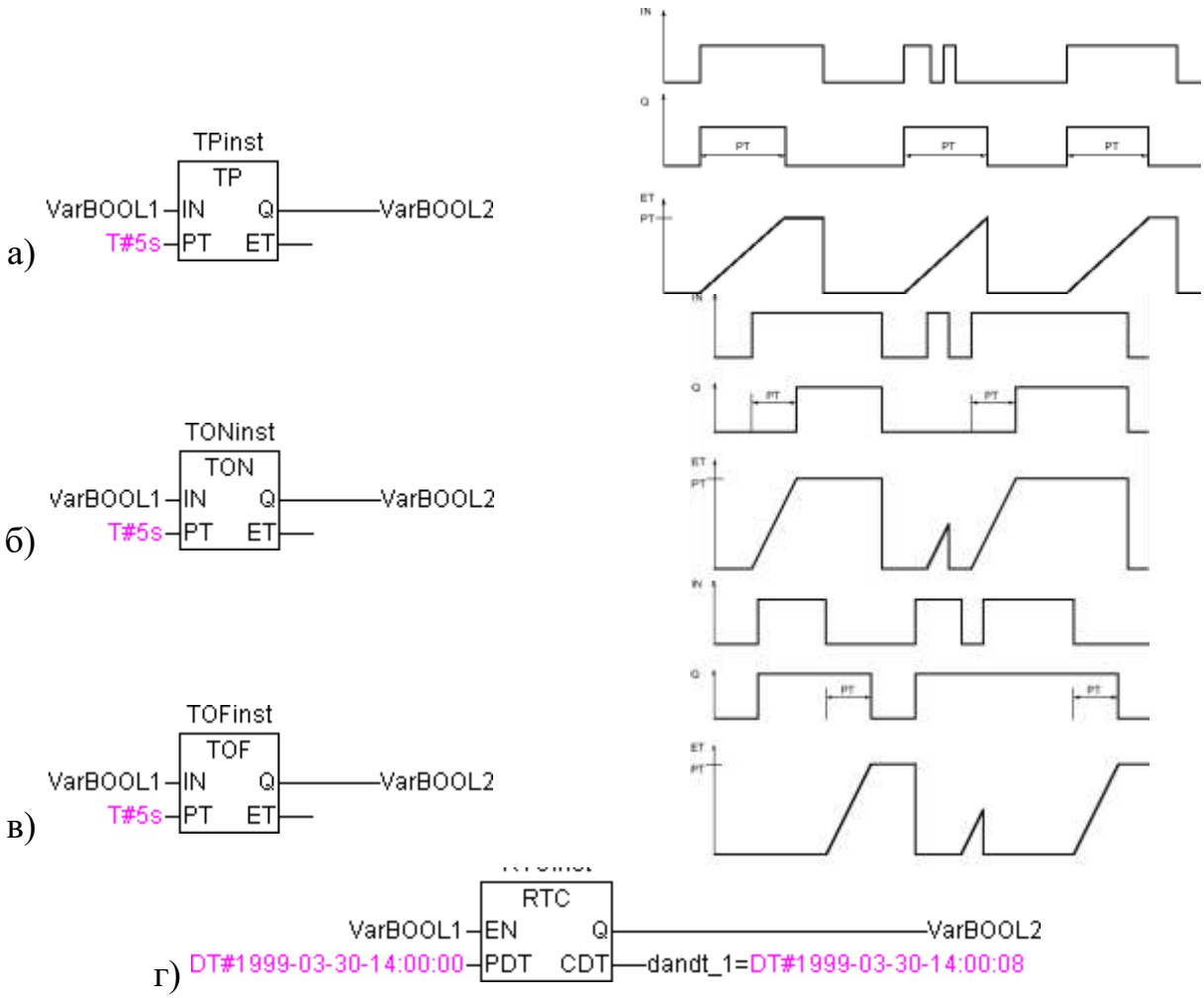


Рис. 19. Таймеры и их временные диаграммы работы

Каждый таймер использует структуру, хранящуюся в блоке данных, для сохранения данных о времени. При этом назначается блок данных, когда устанавливается команда таймера.

В режиме RUN текущее значение таймера уменьшается на одну единицу через интервал времени, установленный базой времени, до тех пор, пока значение времени не станет равным нулю, что соответствует срабатыванию таймера.

4. Для программирования контроллера ПЛК160 доступно 3 вида счетчиков:

- инкрементный (на сложение) счетчик (*CTU*);
- декрементный (на вычитание) счетчик (*CTD*);
- инкрементный/декрементный (реверсивный) счетчик (*CTUD*).

В табл. 8 представлены примеры реализации счетчиков на языках IL и ST. На рис. 20 представлено графическое изображение блоков счетчиков, используемое в языке *FBD*. Блок, реализующий счетчик, имеет следующие входы и выходы: *CU* – вход на сложение, *CD* – вход на вычитание, *PV* – задание (уставка) счетчика, *RESET* – вход сброса, *LOAD* – вход загрузки задания счетчика, *Q*, *QU*, *Q*D – выход (состояние) счетчика, *CV* – текущее значение счетчика в двоичном формате.

Таблица 8

	Пример объявления	**Пример IL**	**Пример ST**
CTU	*CTUInst: CTU*	*CAL CTUInst*(*CU* := *VarBOOL*1, *RESET* := *VarBOOL*2, *PV* := *VarINT*1) *LD CTUInst.Q* *ST VarBOOL*3 *LD CTUInst.CV* *ST VarINT*2	*CTUInst*(*CU*:= *VarBOOL*1, *RESET*:=*VarBOOL*2 , *PV*:= *VarINT*1); *VarBOOL*3 := *CTUInst.Q* ; *VarINT2* := *CTUInst.CV*
CTD	*CTDInst: CTD*	*CAL CTDInst*(*CD* := *VarBOOL*1, *LOAD* := *VarBOOL*2, *PV* := *VarINT*1) *LD CTDInst.Q* *ST VarBOOL*3 *LD CTDInst.CV* *ST VarINT*2	*CTDInst*(*CD*:= *VarBOOL*1, *LOAD*:=*VarBOOL*2 , *PV*:= *VarINT*1); *VarBOOL*3 := *CTDInst.Q* ; *VarINT*2 := *CTDInst.CV*
CTUD	*CTUDInst : CUTD*	*CAL CTUDInst*(*CU*:=*VarBOOL*2, *RESET*:=*VarBOOL*3, *LOAD*:=*VarBOOL*4, *PV*:=*VarINT*1) *LD CTUDInst.Q* *ST VarBOOL*5 *LD CTUDInst.QD* *ST VarBOOL*5 *LD CTUInst.CV* *ST VarINT*2	*CTUDInst*(*CU* := *VarBOOL*1, *CU*:= *VarBOOL*2, *RESET* := *VarBOOL*3, *LOAD*:=*VarBOOL*4 , *PV*:= *VarINT*1); *VarBOOL*5 := *CTUDInst.QU* ; *VarBOOL*6 := *CTUDInst.QD* ; *VarINT*2 := *CTUDInst.CV*

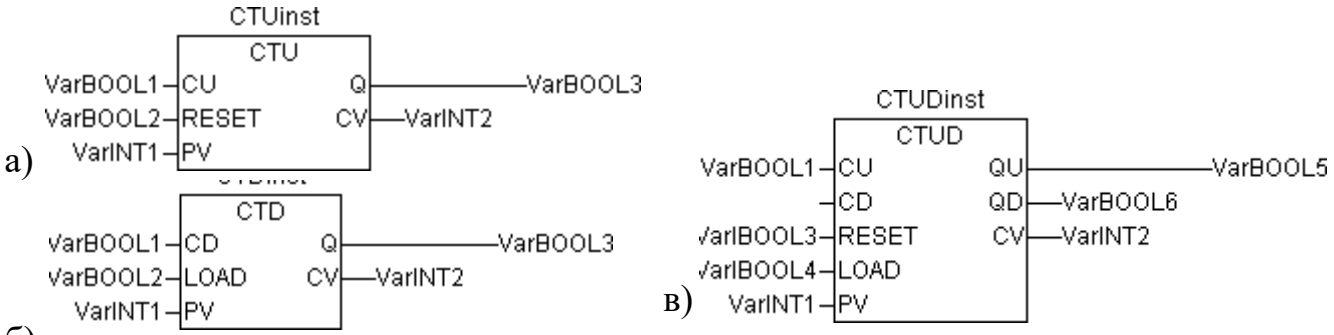


Рис. 20. Счетчики

Уставка счетчика задается либо константой в формате <значение>, либо из области памяти (I, Q, M). Нарастающим фронтом сигнала на входе LOAD в счетчик заносится уставка с входа PV. При нарастающем сигнале на входе CU значение счетчика увеличивается на «1». При нарастающем фронте сигнала на входе CD значение счетчика уменьшается на «1», если значение счетчика больше, чем «0». При нарастающем фронте сигнала на входе RESET счетчик сбрасывается (в счетчик записывается значение «0»).

Для реверсивного счетчика, если оба счетных входа имеют нарастающий фронт, то значение счетчика остается неизменным.

В счетчике CTU выход Q устанавливается в «1», когда значение CV достигает значения PV.

В счетчике CTD выход Q устанавливается в «1», когда значение CV достигает «0».

В счетчике CTUD выход QU устанавливается в «1», когда значение CV больше или равно значению PV, а выход QD – когда значение CV достигает «0».

5. Кроме таймеров и счетчиков в программируемом контроллере ОВЕН ПЛК160 используется стандартный набор операндов и функций, присущий всем контроллерам:

- логические;
- арифметические
- операции сдвига;
- операции сравнения и т.д.

6. Программирование функциональных блоков и функций

Среда разработки CoDeSys предусматривает возможность упростить программирование, если возникает необходимость в программировании управления однотипными технологическими операциями. Ниже рассматриваются, в качестве примера, испытания двигателей бензинового и дизельного. Испытания в принципе одинаковые, только аппараты (кнопки, датчики и устройства индикации) свои. В этом случае необходимо запрограммировать функциональный блок FB, который может многократно вызываться в программе

Например, создадим функциональный блок FB1, которому дадим символическое имя «ENGINE [двигатель]». При кратковременном появлении

команды «turn_on [включить]» двигатель должен включиться и сформировать сигнал «on [включен]».

При достижении фактической скорости «fact [факт]» заданного значения «preset [задание]» формируется сигнал «ready [готов]». Двигатель отключается по сигналу «turn_off [отключить]» или по сигналу «trouble [неисправность]».

Последовательность программирования сводится к следующему:

1) Создать новый проект, в котором создать три программных компонента POU: программный блок PLC_PRG, функциональный блок ENGINE и функция VENT (рис. 21);

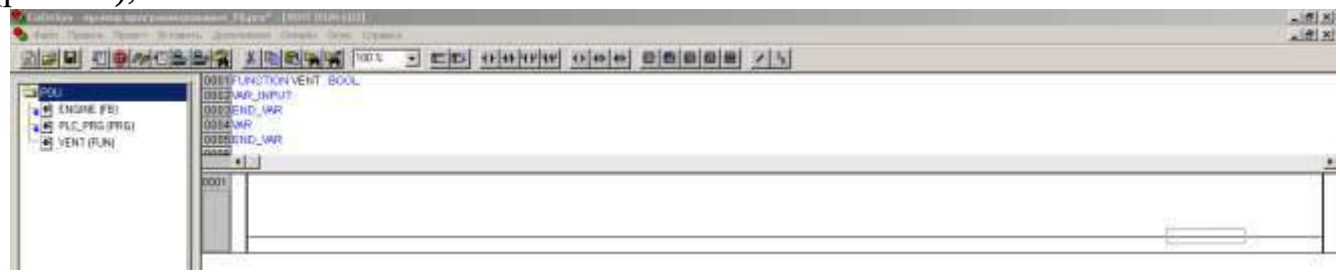


Рис. 21.

2) Объявить переменные для функционального блока *ENGINE* (рис. 22а):

```
FUNCTION_BLOCK
ENGINE
VAR_INPUT
        turn_on: BOOL;
        turn_off: BOOL;
        trouble: BOOL;
        fact: INT;
        preset: INT;
END_VAR
VAR_OUTPUT
        on: BOOL;
        ready: BOOL;
END_VAR
VAR
END_VAR
```

3) Объявить переменные для основной программы *PLC_PRG* (табл. 9 и рис. 22б).

4) Затем разрабатывается программа, управляющая включением и отключением двигателя, как было описано выше.

Таблица 9

Символическое имя	**Адрес на модуле**	**Адрес ПЛК**	**Тип данных**	**Комментарии**
Входные переменные				
turn_on_B	*I*1	%*IX*0.0	*BOOL*	Включить бензиновый
turn_off_B	*I*2	%*IX*0.1	*BOOL*	Отключить бензиновый
trouble_B	*I*3	%*IX1*.0.0	*BOOL*	Неисправность бензинового

Символическое имя	Адрес на модуле	Адрес ПЛК	Тип данных	Комментарии
turn_on_D	*I*4	%*IX1*.0.1	*BOOL*	Включить дизель
turn_off_D	*I*5	%*IX1*.0.2	*BOOL*	Отключить дизель
trouble_D	*I*6	%*IX1*.0.3	*BOOL*	Неисправность дизеля
Выходные переменные				
on_B	*Q*1	%*QX*2.0	*BOOL*	Бензиновый включен
ready_B	*Q*2	%*QX*2.1	*BOOL*	Заданная скорость достигнута
vent_B	*Q*3	%*QX*2.2	*BOOL*	Вентилятор бензинового включен
on_D	*Q*5	%*QX*3.0.0	*BOOL*	Дизель включен
ready_D	*Q*6	%*QX*3.0.1	*BOOL*	Заданная скорость достигнута
vent_D	*Q*7	%*QX*3.0.2	*BOOL*	Вентилятор дизеля включен
Промежуточные переменные				
fact_B		*MW*0	*INT*	Фактическая скорость бензинового двигателя
fact_D		*MW*2	*INT*	Фактическая скорость дизеля
Таймеры				
tim_B		*TON*		Таймер вентилятора бензинового
tim_D		*TON*		Таймер вентилятора дизеля

а)

ENGINE (FB-LD)

```
0001 FUNCTION_BLOCK ENGINE
0002 VAR_INPUT
0003     turn_on: BOOL;
0004     turn_off: BOOL;
0005     trouble: BOOL;
0006     fact: INT;
0007     preset: INT;
0008 END_VAR
0009 VAR_OUTPUT
0010     on: BOOL;
0011     ready: BOOL;
0012 END_VAR
0013 VAR
0014 END_VAR
0015
```

б)

PLC_PRG (PRG-LD)

```
0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003     turn_on_B AT %IX0.0: BOOL;
0004     turn_off_B AT %IX0.1:    BOOL;
0005     trouble_B AT %IX1.0.0:  BOOL;
0006     turn_on_D AT %IX1.0.1:  BOOL;
0007     turn_off_D AT %IX1.0.2:  BOOL;
0008     trouble_D AT %IX1.0.3:  BOOL;
0009     on_B  AT %QX2.0:   BOOL;
0010     ready_B  AT %QX2.1:   BOOL;
0011     vent_B AT %QX2.2: BOOL;
0012     on_D  AT %QX3.0.0: BOOL;
0013     ready_D  AT %QX3.0.1: BOOL;
0014     vent_D AT %QX3.0.2: BOOL;
0015     tim_B: TON;
0016     tim_D: TON;
0017     fact_B AT      %MW0:    INT;
0018     fact_D AT %MW2:  INT;
0019
0020 END_VAR
0021
```

Рис. 22. Объявление переменных

Набранная программа на языке лестничных диаграмм имеет вид, представленный на рис. 23.

Созданный блок *ENGINE* должен управлять и контролировать работу бензинового и дизельного двигателей. Различные заданные скорости хранятся в отдельных ячейках памяти.

5) Далее необходимо запрограммировать вызов функционального блока в программном блоке. Для этого в сегменте программного блока необходимо установить курсор в заданном положении, на панели инструментов нажать пиктограмму  и установить 2 блока на поле сегмента. В поле названия блока необходимо списать название пользовательского блока (*ENGINE*). Один блок

необходимо назвать «*Gasoline*», другой – «*Diesel*». Соответственно один блок будет отвечать за работу бензинового двигателя, а второй – за работу дизельного (рис. 24а).

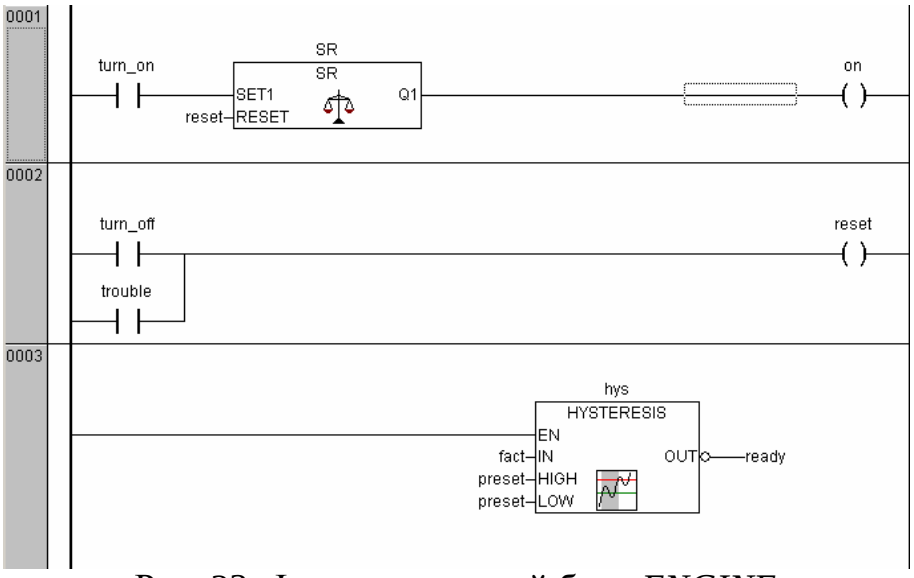


Рис. 23. Функциональный блок *ENGINE*

В поля напротив входов и выходов необходимо установить названия соответствующих переменных. Программный блок после этого примет вид, представленный на рис. 24б. Напротив внутренней переменной «*preset*» блока «*Gasoline*» необходимо установить значение 1500. Таким образом, определена максимальная скорость для бензинового двигателя. Аналогично установить значение 1200 напротив внутренней переменной «*preset*» блока «*Diesel*» (для дизельного двигателя).

6) Далее необходимо сохранить программу;

7) Функции, как и функциональные блоки, расположены в иерархии программы ниже программного блока. Однако в отличие от функционального блока, функции не нужен блок данных. У функций параметры также перечисляются в окне объявления переменных, но статические данные не разрешаются.

В рассматриваемой задаче предусматривается, что каждый двигатель как бензиновый, так и дизель имеет свой вентилятор. Вентилятор включается при работе двигателя и продолжает еще работать 4 с после отключения двигателя. Для управления этими двигателями программируется функция *VENT*.

Необходимо в менеджере проекта дважды щелкнуть на строке *VENT*, чтобы открыть ее. Открывается окно для программирования. Далее нужно объявить переменные:

```
FUNCTION VENT :
BOOL
VAR_INPUT
        turn_on: BOOL;
END_VAR
VAR
        tim: TON;
END_VAR
```

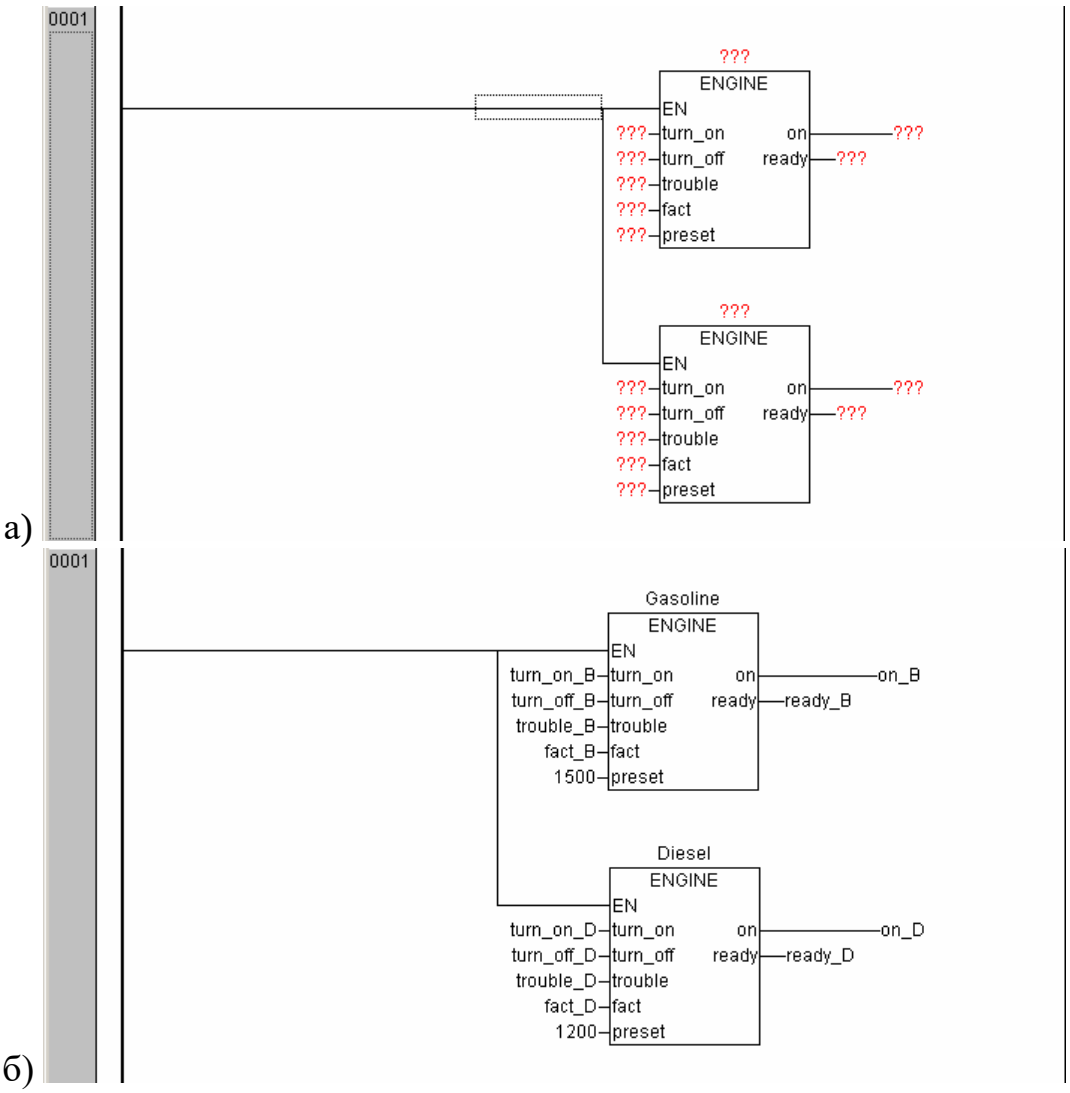


Рис. 24. Сегмент программы управления испытаниями двигателей

8) Затем необходимо запрограммировать управление вентилятором. Набранная программа на языке *FBD* имеет вид, представленный на рис. 25.

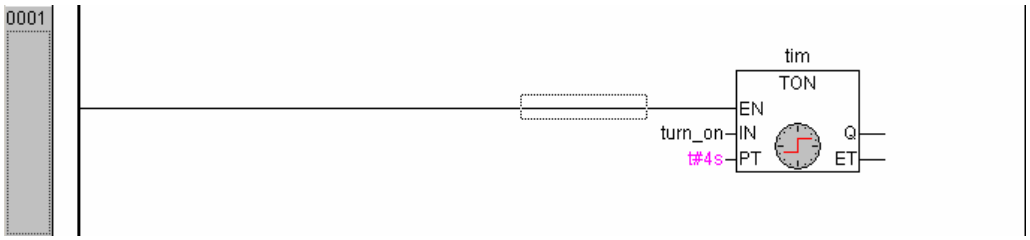


Рис. 25. Программирование функции *VENT*

9) Вызов функции *VENT* в программном блоке выполняется аналогично вызову функционального блока. Все переменные функции снабжаются в программном блоке соответствующими адресами бензинового или дизельного двигателя, которые уже отражены в табл. 9.

В программном блоке *PLC_PRG* вставить новый сегмент. Затем в этом сегменте необходимо установить курсор, на панели инструментов нажать пиктограмму и

установить 2 блока на поле сегмента. В поле названия блока необходимо списать название пользовательской функции (*VENT*). Одна функция будет отвечать за работу вентилятора бензинового двигателя, а вторая – за работу вентилятора дизельного двигателя (рис. 26а). Далее в соответствующих полях ввести символьные имена из табл. 9. Сохранить программу.

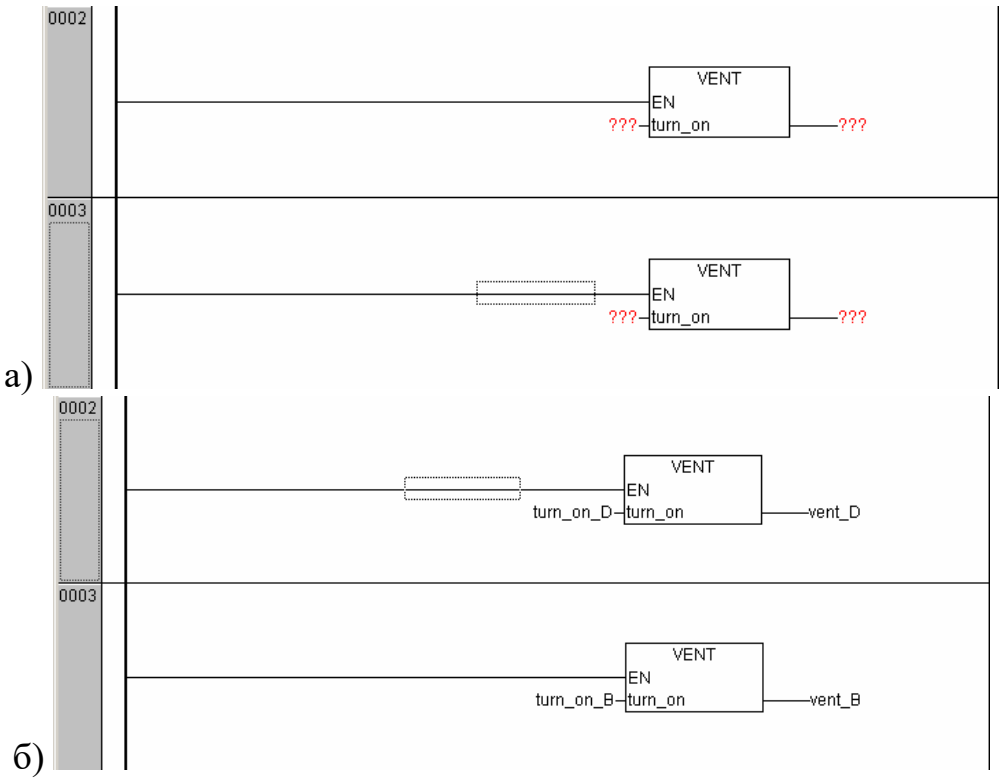


Рис. 26. Сегмент программы управления вентиляторами

7. Пример программирования контроллера ПЛК160. В качестве примера представлена программа управления движением тележки.

Тележка перемещается по прямолинейному пути. Имеется два фиксированных положения П0 и П1. Исходное положение тележки – П0.

При кратковременном нажатии на кнопку «Пуск» тележка движется вперед до положения П1, стоит в положении П1 5 с и возвращается назад в положение П0. В положении П0 немедленно возникает реверс привода тележки. Тележка вновь движется в положение П1, стоит в нем 5 с и возвращается в П0. В положении П0 вновь возникает команда на движение до положения П1 и т.д. после 10 циклов перемещения в положение П1 при возвращении тележки в положение П0 возникает сигнал «Конец цикла».

Для управления движением тележки следует предусмотреть счетчик (СЧ) со счетом до 10, задержку времени (таймер) для формирования задержанного сигнала $П1^{\uparrow}$ и память $Р_П$ о нажатии на кнопку «Пуск».

$$P_П = (Пуск + P_П) \cdot \overline{КЦ}$$

Команда на перемещение тележки вперед (В) возникает в положении П0, если отсутствует сигнал счетчика СЧ, и сохраняется при наличии сигнала памяти пуска

$Р_П$ до достижения положения П1. Этому описанию соответствует логическое уравнение

$$В = (П0 \cdot \overline{СЧ} + В) \cdot \overline{П1} \cdot Р_П$$

Команда на перемещение тележки назад (Н) возникает через 5 с нахождения в положении П1 и сохраняется при наличии переменной $Р_П$ до достижения положения П0. Тогда логическое уравнение для команды Н имеет вид

$$Н = (П1^{\uparrow} + Н) \cdot \overline{П0} \cdot Р_П$$

Сигнал конца цикла (КЦ) возникает в положении П0 при наличии сигнала счетчика СЧ о завершении 10 циклов перемещения в положение П1и сигнала $Р_П$. Сигнал КЦ сохраняется до очередного нажатия на кнопку “Пуск”. Тогда логическое уравнение для рассматриваемого сигнала имеет вид

$$КЦ = (П0 \cdot СЧ \cdot Р_П + КЦ) \cdot \overline{Пуск}$$

В ниже приведенной программе (рис. 49) использован счетчик на вычитание. При нажатии на кнопку «Пуск» в счетчик вводится уставка 10. Счетчик считает число циклов перемещения в положение П1, при достижении этого положения число в счетчике уменьшается на единицу. Счетчик сбрасывается по сигналу конца цикла КЦ. Признаком окончания цикла является число в счетчике равное нулю, при котором на выходе счетчика «0». Поэтому в уравнениях команд В и КЦ необходимо использовать инверсию сигнала СЧ по отношению к ранее записанным уравнениям:

$$В = (П0 \cdot СЧ + В) \cdot \overline{П1} \cdot Р_П$$

$$КЦ = (П0 \cdot \overline{СЧ} \cdot Р_П + КЦ) \cdot \overline{Пуск}\,.$$

Сброс счетчика производится сигналом конца цикла КЦ.

В табл. 10 представлена адресация команд и сигналов для ОВЕН ПЛК160. Соответственно, на рис. 27 представлена программа управления движением тележки.

Таблица 10

Команда, сигнал	**П0**	**П1**	**Пуск**	**В**	**Н**	**КЦ**	**$Р_П$**	**СЧ**	**$П1^{\uparrow}$**
Адрес на модуле	*I*1	*I*2	*I*3	*Q*1	*Q*2	*Q*3			
Адрес ПЛК	%*IX*0.0	%*IX*0.1	%*IX1*.0.0	%*QX*2.0	%*QX*2.1	%*QX*2.2	%*MX*0.0	%*MX*0.1	%*MX*0.2
Символьный адрес	*p*0	*p*1	*start*	*forw*	*rev*	*cycle*	*mem*	*count*	*tim*

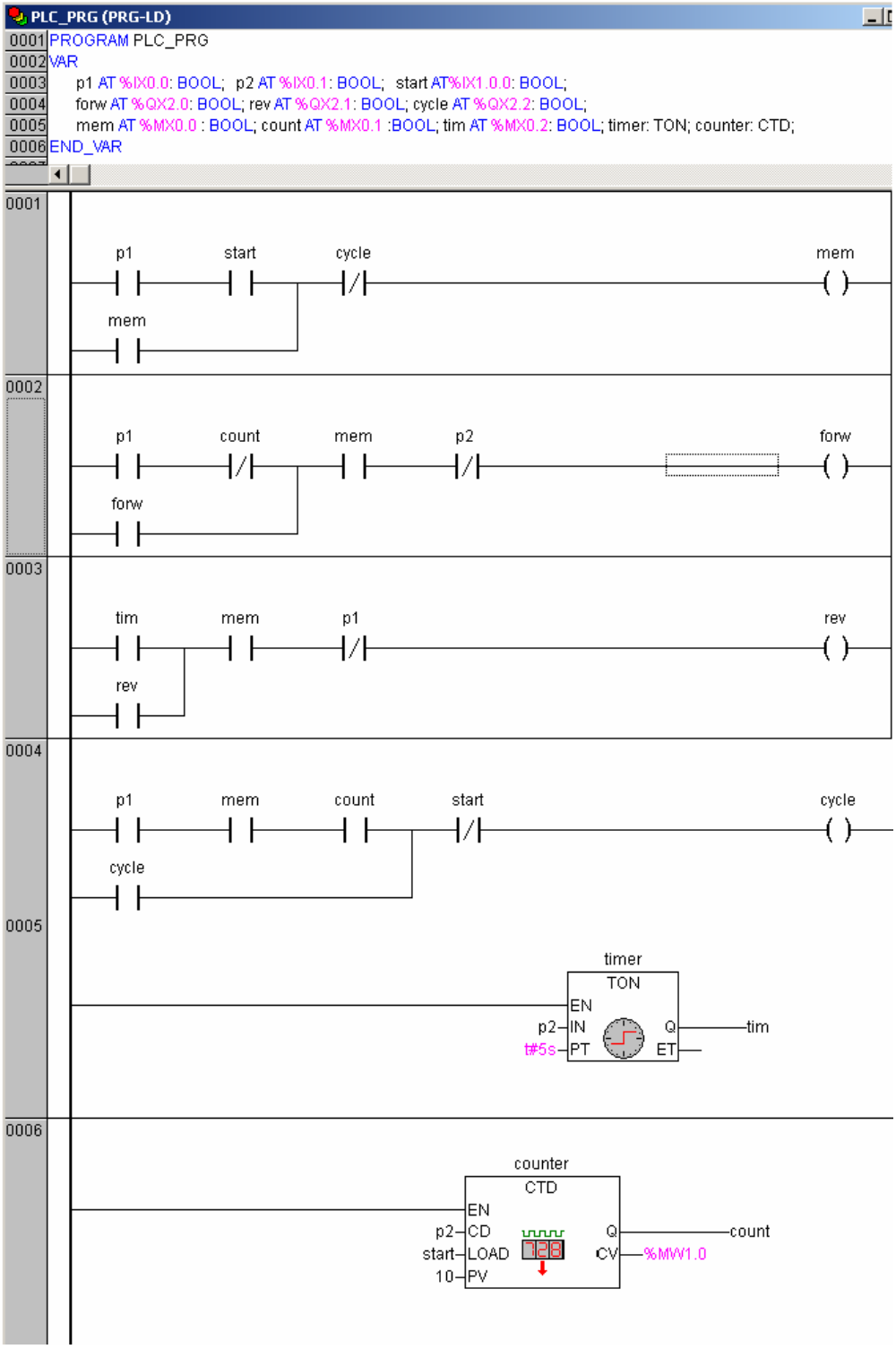


Рис. 27. Программа управления движением тележки

Загрузка программы в контроллер и запуск программы

Компиляция и загрузка программы в контроллер осуществляется в следующей последовательности:

– В выпадающем меню «Проект» выбрать пункт «Компилировать» либо воспользоваться «быстрой» клавишей *F11*. Пройдет компиляция проекта, по итогам

которой сформируется лог компиляции (см. рис. 16). Если ошибок в проекте нет, то весь текст будет серого цвета и в последней строке будет запись «0 ошибок, 0 предупреждений». В противном случае необходимо будет исправить все обозначенные ошибки.

– Настроить параметры порта связи с ПЛК160. Для этого в выпадающем меню «Онлайн» выбрать пункт «Параметры связи». В открывшемся окне нажать кнопку «New», в результате чего откроется окно создания нового канала связи (рис. 28а), в котором нужно выбрать строку *Serial* (*RS*232) и нажать «ОК».

– В открывшемся окне настроек порта связи (рис. 28б) указать следующие значащие параметры: ***Port* – *COM*2, *Baudrate* – 9600, *Parity* – *no*, *Stop bits* – 1**.

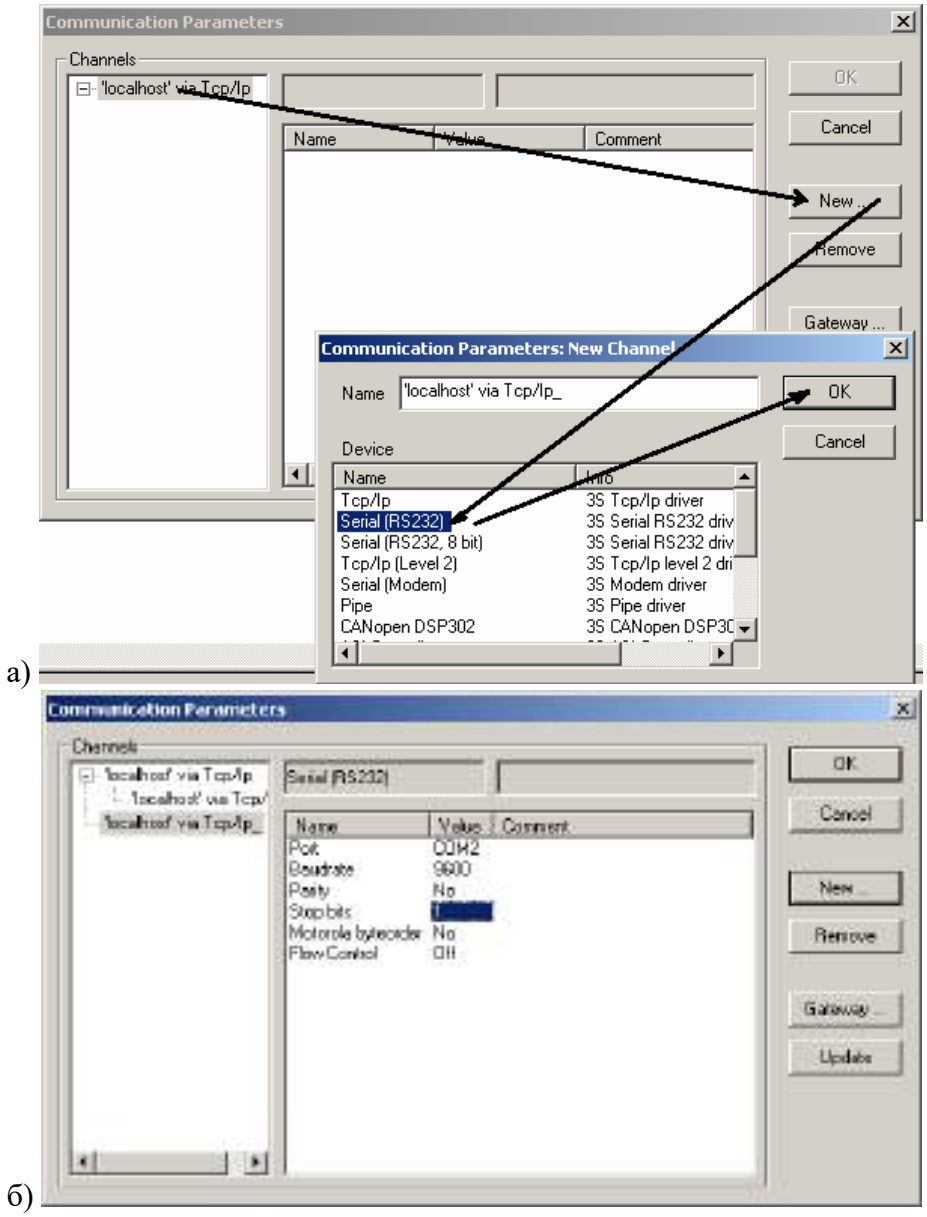
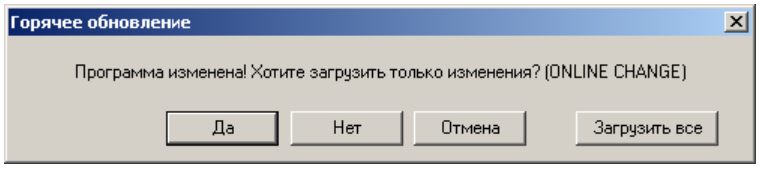


Рис. 28. Настройка параметров связи

– Создать загрузочный проект. Для этого в выпадающем меню «Онлайн» выбрать пункт «Создание загрузочного проекта». В итоге будут созданы файлы загрузочного проекта.

– Загрузить проект в память ПЛК. Для этого в выпадающем меню «Онлайн» выбрать пункт «Подключение», в появившемся окне (рис. 29а) выбрать «НЕТ». После этого в выпадающем меню «Онлайн» выбрать пункт «Загрузка». Прогресс процесса загрузки представлен на рис. 29б. В итоге проект полностью загружен в память ПЛК. Запуск контроллера осуществляется нажатием кнопки «СТАРТ/СТОП» либо выбором пункта «СТАРТ» в выпадающем меню «Онлайн»

а) 

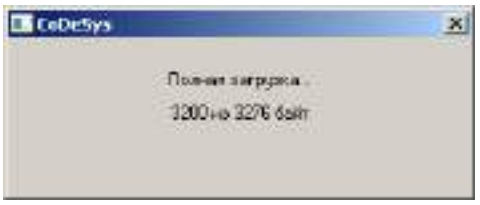
б) 

Рис. 29.

Во время работы контроллера доступен режим мониторинга хода выполнения программы. *CoDeSys* переходит в режим мониторинга сразу же после перехода в онлайн-режим работы. В этом режиме будут отображаться состояния контактов и обмоток, а также значения счетчиков, таймеров и других функции в реальном времени (рис. 30).

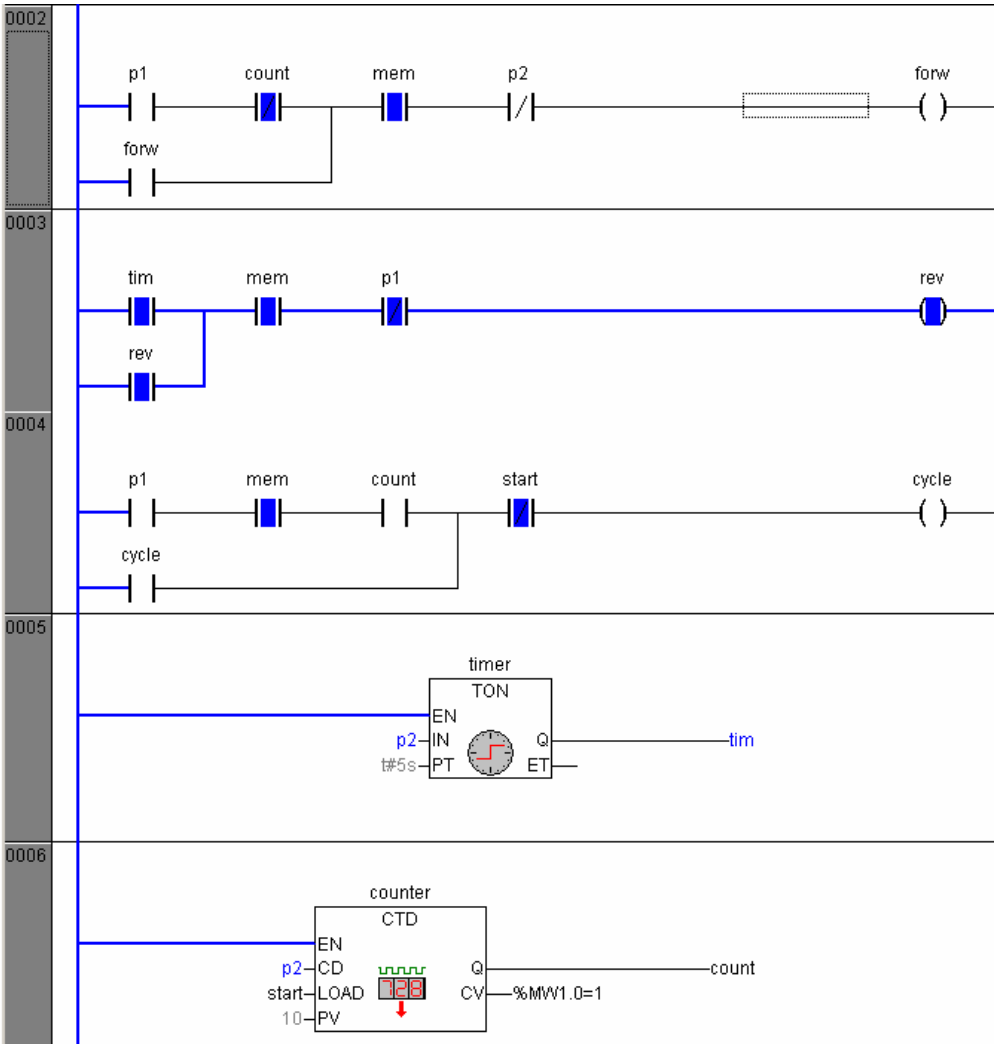


Рис. 30. Режим мониторинга

Варианты заданий

При подготовке к лабораторной работе студент должен в соответствии с табл. 11 выбрать свой вариант задания.

Для заданного варианта необходимо разработать алгоритм ее решения. В соответствии с заданием определиться с адресацией входных и выходных переменных. Затем определиться с адресацией вводимых промежуточных переменных и с адресацией используемых таймеров и счетчиков. Составить программу для контроллера ПЛК160.

Запустить программу в работу и убедиться в правильности ее работы. При наличии ошибок в работе устранить их и продемонстрировать преподавателю работу правильно функционирующей программы.

Таблица 11

Номер бригады	1 и 5			2 и 6			3 и 7			4 и 8		
Член бригады	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Вариант 1. Перекладыватель служит для перемещения листов со стола на постоянно вращающийся рольганг. Перекладыватель имеет подъемник листов, установленный на тележке. Подъемник представляет собой поперечину, перемещающуюся по вертикальным стойкам сверху вниз и обратно. Поперечина имеет на конце электромагнит для притягивания листов.

В исходном положении перекладыватель стоит в положении П0 над столом, а его подъемник в крайнем верхнем положении КВ. При поступлении листа на стол подается сигнал наличия листа, подъемник включается для движения вниз. При касании листа подъемник останавливается и включается электромагнит. Через 2 с включается подъемник на подъем, достигает положения КВ и останавливается. Включается тележка и перемещается в положение П1 над рольгангом, где останавливается и электромагнит отключается. Лист падает на рольганг. Через 2 с тележка движется в положение П0. Цикл повторяется при поступлении очередного сигнала наличия листа. Включение системы в работу – нажатием кнопки «Пуск».

Вариант 2. В контроллере программным путем необходимо реализовать генератор импульсов. Время наличия импульса 1 с, время его отсутствия 2 с. При нажатии на кнопку «Пуск» начинается счет импульсов. При прохождении 10 импульсов загорается лампа Л1, при прохождении следующих 10 импульсов – лампа Л2, аналогично включаются лампы Л3 и Л4. После загорания лампы Л4 (т.е. после прохождения 40 импульсов) счет прекращается, и все лампы горят до нажатия на кнопку «Стоп». Генератор импульсов реализовать программным путем.

Вариант 3. Автоматизировать перемещение пунсона штампованного пресса. Рабочий заправляет металлическую ленту (заготовку) и нажимает кнопку «Пуск». Пуансон из крайнего верхнего положения П0 движется вниз, при своем движении до положения п1 входит в матрицу, выбивая из ленты деталь необходимой формы, и возвращается в положение П0. чисто механическим устройством лента перемещается на один шаг и через 2 с пуансон совершает очередное движение.

Лента рассчитана на изготовление 10 деталей, поэтому через 10 ходов пуансона формируется сигнал «конец цикла». При подаче питания на систему автоматизации пуансон из любой точки должен прийти в положение П0.

Вариант 4. На программируемом контроллере реализовать систему управления толкателем с кривошипно-шатунным механизмом с реверсивным электродвигателем. Толкатель имеет два фиксированных положения П0 и П1. При подаче питания на систему толкатель из любого положения движется вперед медленно до положения П0. При появлении кратковременного сигнала «Пуск» толкатель из положения П0 медленно движется до положения П1, стоит там в течение 2 с, а затем электродвигатель включается для движения назад быстро и возвращается в положение П0, где формируется сигнал «Конец цикла». Цикл повторяется при нажатии кнопки «Пуск». При нажатии кнопки «Стоп» толкатель из любого положения на быстрой скорости возвращается в положение П0.

Вариант 5. Автоматизировать управление крышкой котла (типа большой кастрюли).При кратковременном нажатии кнопки «Открыть» крышка поднимается до крайнего верхнего положения, в котором поворачивается, открывая доступ к содержимому котла.При кратковременном нажатии на кнопку «Закрыть» крышка поворачивается в положение точно над котлом и затем опускается, закрывая котел. Для исключения ударов предусмотреть переход на пониженную скорость перед касанием крышкой котла при его закрывании.

Вариант 6. Автоматизировать управление дверью (воротами) въезда/выезда гаража. Нормальное (исходное) положение двери закрытое. При кратковременном нажатии кнопки «Открыть» включается звонок и через 5 с включается привод двери на открывание. При полном открытии двери привод двери отключается сразу, а звонок звенит еще 2 с. Закрывание дверей – аналогично: при кратковременном нажатии кнопки «Закрыть» включается звонок, через 5 с включается привод двери на закрывание. При полном закрытии двери привод двери отключается, а звонок звенит еще 2 с.

Вариант 7. Печь сопротивлений содержит три нагревательных элемента (НЭ), каждый из которых питается от собственного тиристорного преобразователя соответственно ТП1…ТП3. Сигнал «1» на входе ТП соответствует максимально допустимому току НЭ, сигнал «0» – минимально допустимому току НЭ. Синтезировать схему, обеспечивающую алгоритм работы группы ТП, представленный в табл. 12.

Таблица 12

Номер импульса генератора	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	…
Состояние ТП1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	…
Состояние ТП2	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	
Состояние ТП3	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	

Начало работы осуществляется после нажатия на кнопку «Пуск». Цикл управления печью сопротивления состоит из 6 тактов. Переход с одного такта на другой осуществляется при поступлении очередного импульса от генератора импульсов. Циклы управления непрерывно следуют друг за другом. При

поступлении команды «Стоп» прекращается подача импульсов и все ТП отключаются. Для возобновления работы необходимо нажать на кнопку «Пуск». Генератор импульсов реализуется программным путем.

Вариант 8. Манипулятор (рука со схватом) служит для подачи заготовок из накопителя в пресс. Рука манипулятора может перемещаться вперед/назад из крайнего заднего КЗ в крайнее переднее КП положение и назад, а также поворачиваться из крайнего правого положения КПр в крайнее левое положение КЛ и обратно. Схват имеет электромагнитный механизм зажима/разжима заготовок. Исходное положение манипулятора перед накопителем (в положениях КЗ и КПр, схват под действием пружин зажат). При поступлении запроса со станка и наличии заготовки в накопителе включается электромагнит разжима схвата. Рука идет в крайнее переднее положение КП, через 2 с схват зажимает заготовку (электромагнит схвата отключается) и рука возвращается в положение КЗ. Рука поворачивается в положение КЛ и выдвигается вперед до КП. Схват разжимается (электромагнит схвата включается) и через 2 с рука идет в положение КЗ, затем поворачивается в положение КПР (исходное положение руки). Если есть запрос со станка, а накопитель пуст, то включается сигнальная лампа «Нет детали» и кратковременный звуковой сигнал (в течение 5 с). Световой сигнал снимается кнопкой «Сброс». Включение системы в работу – нажатием кнопки «Пуск».

Вариант 9. Автоматизировать процесс безупорной остановки длинномерного металла на рольганге Р1. На рольганг Р1 металл передается с предыдущего рольганга Р0, наличие металла на котором контролируется датчиком Д0. Вдоль рольганга Р1 расположены датчики, контролирующие наличие металла последовательно в положениях П1, П2 и П3. Нормальное положение рольганга Р1 – неподвижное. При наличии сигнала с датчика Д0 и отсутствии металла на рольганге Р1, рольганг Р1 включается, и металл перемещается по рольгангу Р1. При достижении передним концом металла положения П1 происходит снижение скорости Р1 до «ползучей» скорости, а в положении П2 привод рольганга Р1 отключается. Если по каким-либо причинам металл достиг положения П3, то привод рольганга Р1 реверсируется и работает на пониженной скорости, пока металл не уйдет из положения П3. При остановке переднего конца металла между положениями П2 и П3 формируется сигнал разрешения работы механизмов уборки металла с Р1. Включение системы в работу – при нажатии на кнопку «Пуск».

Вариант 10. Автоматизировать работу толкателя с кривошипно-шатунным механизмом с нереверсивным электродвигателем. При нажатии кнопки «Пуск» кривошип из положения $\alpha = 0^0$ движется до положения $\alpha = 120^0$. В этом положении происходит переход на пониженную (малую) скорость, кривошип идет до положения $\alpha = 180^0$ и останавливается. Через 3с электродвигатель автоматически вновь включается и на повышенной скорости шатун идет в положение $\alpha = 0^0$. Стоит в нем 3 с, включается и движется к положению $\alpha = 120^0$ и на пониженной скорости до $\alpha = 180^0$ и т.д. После 5 толканий толкатель останавливается в исходном положении (кривошип - в положении $\alpha = 0^0$) и формируется сигнал «Конец цикла».

Очередной цикл из пяти толканий – после очередного нажатия на кнопку «Пуск». При нажатии на кнопку «Стоп» толкатель из любого положения на повышенной скорости движется в положение $\alpha = 0^0$ и останавливается.

Вариант 11. Тележка движется по кольцевому пути, на котором есть 3 фиксированных положения П0, П1 и П2. Привод тележки – от нереверсивного электродвигателя. При подаче питания из любого положения тележка должна идти в положение П0. При нажатии на кнопку «Пуск» тележка без задержки движется в положение П1, стоит там в течение 3 с, затем движется в П2, стоит там в течение 4 с, движется в положение П0, стоит там в течение 5 с, движется в П1, стоит там в течение 3 с и т.д. То есть тележка непрерывно движется по кольцевому пути с остановками в фиксированных положениях. При нажатии на кнопку «Стоп» тележка должна без остановки идти в П0 и там ожидать очередного нажатия кнопки «Пуск».

Вариант 12. Автоматизировать линию сортировки изделий. По конвейеру движутся низкие изделия, но редко могут встречаться и высокие. По ходу конвейера установлены две фотоголовки на расстоянии друг от друга, равном половине ширины изделия. Первая по ходу конвейера фотоголовка настроена на низкие изделия (нижняя фотоголовка), вторая – на высокие изделия (верхняя фотоголовка). При прохождении низкой детали перекрывается только нижняя фотоголовка, а при высоких – вначале нижняя, а затем верхняя фотоголовки. На выходе конвейера детали ударяются о сортировочную планку, и высокие изделия поступают в правый накопитель (левое положение планки), низкие – в левый (правое положение планки). Планка перебрасывается пневмоприводом. Для переброски планки влево или вправо достаточно хотя бы кратковременно подать команду на ее перемещение влево или вправо. Включение системы в работу – нажатием кнопки «Пуск».

Требования к отчёту

Отчет должен содержать:

1. цель работы;
2. условия задачи по варианту, принятые обозначения переменных, логические функции для выходных и промежуточных переменных, при необходимости циклограмму работы оборудования;
3. логические функции в адресах программируемого контроллера;
4. программу для реализации системы управления;
5. методику экспериментальной проверки функционирования реализованной системы управления и результаты проверки;
6. выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что означает термин «конфигурирование проекта»?
2. Что означает термин «*target*-файл», где и как он используется в программной среде *CoDeSys*?
3. Что такое объявление переменных и это используется при программировании контроллера?
4. Можно ли в ПЛК160 реализовать таймер с уставкой времени 0,07 с?
5. При каких условиях на выходе таймеров контроллера формируется сигнал «0» и сигнал «1»?
6. При каких условиях на выходе счетчиков контроллера формируется сигнал «0» и сигнал «1»?
7. Что означает создание функционального блока (*FB*) при программировании контроллера?
8. Что означает создание и открытие функции (*FC*) при программировании контроллера?

2.2 Работа №2. Основы работы со SCADA-системой

Цель работы

Ознакомиться с основами работы *SCADA*-системы *TRACE MODE* и приобрести навыки разработки исполнительной среды для осуществления обмена данными. Разработать систему автоматизации на базе *SCADA*-системы *TRACE MODE*.

Содержание работы

а) Изучить назначение и технические характеристики устройств автоматизации, входящих в состав лабораторного комплекса.

б) Изучить принципы конфигурирования функций обмена данными между *SCADA*-системой *TRACE MODE* и устройствами автоматизации, а также принципы программирования задач управления технологическими процессами.

в) Дома при подготовке к работе:

– составить последовательность, в которой будет вестись настройка и конфигурирование изучаемых устройств автоматизации;

– составить программу управления для ПЛК160;

– разработать проект для исполнительной среды *SCADA*-системы *TRACE MODE*.

г) В лаборатории:

– пройти тестирование по функциональным возможностям, режимам работы и основам конфигурирования оборудования, участвующего в обмене данными со *SCADA*-системой;

– пройти тестирование по системе команд и принципу программирования на ПЛК160;

– учитывая установленную при конфигурировании адресацию, откорректировать подготовленные дома программы, записать их в программной среде *CoDeSys* 2.3 для ПЛК160/

Общие сведения

Краткие сведения о *SCADA*-системе *TRACE MODE*

SCADA (от англ. *Supervisory Control And Data Acquisition* – Диспетчерское управление и сбор данных) – программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления.

SCADA-система может являться частью АСУТП (автоматизированная система управления технологическим процессом), АСКУЭ (автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии), системы экологического мониторинга, научного эксперимента, автоматизации здания и т. д. *SCADA*-системы используются

во всех отраслях хозяйства, где требуется обеспечивать операторский контроль за технологическими процессами в реальном времени.

Данное программное обеспечение устанавливается на компьютеры и, для связи с объектом, использует драйверы ввода-вывода или *OPC/DDE* серверы. Программный код может быть как написан на языке программирования (например, на *C++*), так и сгенерирован в среде разработки.

Иногда *SCADA*-системы комплектуются дополнительным ПО для программирования промышленных контроллеров. Такие *SCADA*-системы называются интегрированными и к ним добавляют термин *SoftLogic*.

Термин *SCADA* имеет двоякое толкование. Наиболее широко распространено понимание *SCADA* как приложения, то есть программного комплекса, обеспечивающего выполнение указанных функций, а также инструментальных средств для разработки этого программного обеспечения. Однако, часто под *SCADA*-системой подразумевают программно-аппаратный комплекс. Подобное понимание термина *SCADA* более характерно для раздела телеметрия.

Значение термина *SCADA* претерпело изменения вместе с развитием технологий автоматизации и управления технологическими процессами. В 80-е годы под *SCADA*-системами чаще понимали программно-аппаратные комплексы сбора данных реального времени. С 90-х годов термин *SCADA* больше используется для обозначения только программной части человеко-машинного интерфейса АСУ ТП.

Основные задачи, решаемые *SCADA*-системами:

– обмен данными с УСО (устройства связи с объектом, то есть с промышленными контроллерами и платами ввода/вывода) в реальном времени через драйверы;

– обработка информации в реальном времени;

– логическое управление;

– отображение информации на экране монитора в удобной и понятной для человека форме;

– ведение базы данных реального времени с технологической информацией;

– аварийная сигнализация и управление тревожными сообщениями;

– подготовка и генерирование отчетов о ходе технологического процесса;

– осуществление сетевого взаимодействия между *SCADA* и ПК;

– обеспечение связи с внешними приложениями (СУБД, электронные таблицы, текстовые процессоры и т. д.). В системе управления предприятием такими приложениями чаще всего являются приложения, относимые к уровню *MES*;

– *SCADA*-системы позволяют разрабатывать АСУ ТП в клиент-серверной или в распределенной архитектуре.

SCADA-система обычно содержит следующие подсистемы:

1) Драйверы или серверы ввода-вывода - программы, обеспечивающие связь *SCADA* с промышленными контроллерами, счётчиками, АЦП и другими устройствами ввода-вывода информации.

2) Система реального времени - программа, обеспечивающая обработку данных в пределах заданного временного цикла с учетом приоритетов.

3) Человеко-машинный интерфейс (*HMI*) - инструмент, который представляет данные о ходе процесса человеку оператору, что позволяет оператору контролировать процесс и управлять им. Программа-редактор для разработки человеко-машинного интерфейса.

4) Система логического управления - программа, обеспечивающая исполнение пользовательских программ (скриптов) логического управления в *SCADA*-системе. Набор редакторов для их разработки.

5) База данных реального времени - программа, обеспечивающая сохранение истории процесса в режиме реального времени.

6) Система управления тревогами - программа, обеспечивающая автоматический контроль технологических событий, отнесение их к категории нормальных, предупреждающих или аварийных, а также обработку событий оператором или компьютером.

7) Генератор отчетов - программа, обеспечивающая создание пользовательских отчетов о технологических событиях. Набор редакторов для их разработки.

8) Внешние интерфейсы - стандартные интерфейсы обмена данными между *SCADA* и другими приложениями. Обычно *OPC*, *DDE*, *ODBC, DLL* и т. д.

SCADA-система *TRACE MODE* 6 (*Adastra Research Group, LTD*) предназначена для автоматизации промышленных предприятий, энергетических объектов, интеллектуальных зданий, объектов транспорта, систем энергоучета и т.д. Масштаб систем автоматизации, создаваемых в *TRACE MODE,* может быть любым – от автономно работающих управляющих контроллеров и рабочих мест операторов (АРМ) до территориально распределенных систем управления, включающих десятки контроллеров и АРМ, обменивающихся данными с использованием различных коммуникаций – локальной сети, интранета/интернета, последовательных шин на основе *RS*232/485, выделенных и коммутируемых телефонных линий, радиоканалов и *GSM*/*GPRS*-сетей. Причем, благодаря наличию в составе *TRACE MODE* 6 компонентов *T-Factory.exe,* появляется возможность комплексной автоматизации управления как технологическими, так и бизнес-процессами производства для достижения высокой экономической эффективности и быстрого возврата инвестиций.

TRACE MODE 6 располагает встроенными драйверами, позволяющими подключать более 2500 наименований устройств ввода/вывода – программируемых логических контроллеров, удаленных УСО, плат ввода/вывода и промышленных сетей. Поддержка спецификаций *OPC DA* и *HDA,* протоколов *DDE* и *NetDDE,* а также открытый формат драйвера ввода/вывода и возможность прямого обращения к динамическим библиотекам (*DLL*) средствами языка программирования *ST* определяют широкие возможности по включению в состав систем автоматизации, разрабатываемых в *TRACE MODE*, разнообразного оборудования и обмену данными с внешними приложениями.

Системы, создаваемые в *TRACE MODE* 6, могут быть как информационно-измерительными (мониторинг), так и управляющими (НЦУ). Архитектура таких систем в свою очередь может быть как централизованной, так и распределенной, в зависимости от заданных требований.

Особое место отводится системам, использующим свободно-программируемые контроллеры *(PC-based* и/или *PAC*-контроллеры), поскольку в этом случае в *TRACE MODE* 6 применяется единый инструмент создания информационного и математического обеспечения, как для АРМ верхнего уровня, так и для контроллеров, реализующих нижний уровень в иерархии систем автоматизации. Использование технологии автопостроения и подход к разработке проекта распределенной системы автоматизации как единого проекта существенно повышают производительность труда разработчиков систем, значительно уменьшая долю рутинных ручных операций и снижая количество ошибок, неизбежных в больших проектах.

Надежный и высокопроизводительный обмен данными между контроллерами и АРМ в *TRACE MODE* 6 обусловлен использованием логического сетевого протокола *I-Net* (поверх *TCP/IP*), или *M-Link*. Хранение и доступ к накапливаемой информации реализуются через мощную систему архивирования технологических параметров СУБД РВ *SIAD* 6.

Динамические характеристики и надежность создаваемого в *TRACE MODE* программного обеспечения позволяют применять разработанные системы автоматизации в таких отраслях промышленности, как нефтехимия, металлургия, энергетика, машиностроение, коммунальное хозяйство, пищевая промышленность, транспорт, а также при проведении научных исследований.

Программная среда *TRACE MODE* 6 подразделяется на интегрированную среду разработки и исполнительные модули (исполнительную среду).

Инструментальная система *TRACE MODE* (среда разработки) устанавливается на рабочем месте инженера-разработчика АСУ и предназначена для создания системы автоматизации и отладки всех ее компонентов. Сохраняемое в файл с расширением **.prj* описание создаваемой системы автоматизации является проектом *TRACE MODE*.

Исполнительные модули TRACE MODE (среда исполнения) предназначены для запуска проекта в реальном времени, т.е. для эксплуатации на действующем объекте автоматизации. Основным исполнительным модулем *TRACE MODE* для АРМ является монитор реального времени (МРВ), реализующий такие основные функции, как непрерывный сбор данных, их математическую обработку и визуализацию. Для запуска проекта в контроллерах используются исполнительные модули МикроМРВ, которые различаются по типу контроллеров (разрядность процессора, операционная система, использование сетевого взаимодействия и др.).

Каждому компьютеру/контроллеру, запускаемому под управлением исполнительного модуля в проекте *TRACE MODE,* сопоставлен отдельный узел. Максимальное количество узлов в проекте – 255.

В рамках узла создаются каналы – основные информационные единицы для ввода и первичной обработки данных. Каналы в рамках узла могут объединяться в группы, группы могут содержать подгруппы, образуя иерархическую информационную структуру произвольной вложенности. Каналы разделяются на классы в зависимости от типа обрабатываемых данных, например, для целочисленных – *HEX*16 и *HEX*32, для вещественных – *FLOAT* и *DOUBLE FLOAT*.

Каналы содержат атрибуты. Атрибуты каналов могут быть вычисляемыми в реальном времени и не вычисляемыми, общими и специализированными, т.е. отражающими специфику класса канала.

Атрибуты канала, задаваемые при редактировании в ИС это Базовое имя, Комментарий, Кодировка. Они являются общими атрибутами каналов всех классов.

Атрибуты «Верхний предел», «Нижний предел» – не вычисляемые специализированные аргументы канала класса *FLOAT*, атрибут «Достоверность» является вычисляемым атрибутом, индицирующим в реальном времени состояние обмена данными с аппаратурой для каналов класса *HEX*16 и *FLOAT*. Значения не вычисляемых атрибутов можно изменять в реальном времени, например, варьировать параметры внутренней обработки в канале класса *FLOAT* с помощью атрибутов «Множитель» и «Смещение» для выполнения линейного преобразования – перехода от кодов АЦП к физическим величинам и т.д.

Различают два типа каналов – *INPUT* и *OUTPUT*. В общем случае каналы типа *INPUT* могут получать информацию от источников данных, каналы типа *OUTPUT* – посылать управляющие воздействия в приемники данных.

Источники и приемники данных представляют собой описатели точек ввода-вывода, то есть связей с контроллерами, платами УСО, интеллектуальными датчиками и т.д. Каждая точка ввода-вывода может быть одним аналоговым сигналом или группой (до 16-ти) дискретных сигналов.

Связи с тэгами во внешних *OPC*-серверах и программными компонентами по протоколам *DDE/NetDDE* также относятся к точкам ввода-вывода.

Такие компоненты проекта как экраны, программы, связи с внешними реляционными СУБД и документы разрабатываются как шаблоны. Для связи шаблонов с атрибутами каналов используются аргументы. Вызов шаблонов в узлах проекта осуществляется с помощью специализированных каналов класса *CALL* (Вызов). Один шаблон может быть вызван многократно на разных узлах с передачей в аргументы различных атрибутов различных каналов. Допустимы связи между аргументами вызываемых шаблонов, если они заданы в рамках одного узла.

Для повторного использования в последующих проектах любых компонентов проекта – шаблонов экранов, программ, связей с СУБД, документов, источников/приемников и узлов в целом предназначена пользовательская библиотека.

Количество проектов, разрабатываемых с помощью одной инструментальной системы *TRACE MODE*, как и время работы в ней не ограничены.

В состав инструментальной системы *TRACE MODE* 6 входят:

1) Интегрированная среда разработки *TRACE MODE* 6 *IDE* (файл *tmdevenv.exe*).

2) Профайлеры – отладочные МРВ (файл *rtc.exe* – с поддержкой графических экранов. Файл *rtmg*32.*exe* – без поддержки графических экранов).

3) Бесплатный набор драйверов устройств ввода\вывода.

4) Библиотека компонентов – файл *tmdevenv.tmul* и набор ресурсов – обои, логотипы, анимации в каталоге *\Lib* папки инструментальной системы.

5) Электронная документация (встроенная справочная система).

6) Демонстрационные проекты *TRACE MODE* (примеры систем автоматизации, основанные на имитации технологического процесса).

Создание проекта АСУ осуществляется в единой интегрированной среде разработки (ИС) *TRACE MODE* 6, работающей под управлением операционной системы *MS Windows*. Операции по созданию компонентов проекта, их редактированию и установлению взаимосвязей между ними выполняются в навигаторе проекта ИС. Разрабатываемый проект представляется в виде дерева компонентов. Создание дерева проекта облегчается применением различных технологий автопостроения.

При создании программ, экранов, связей с СУБД, документов и других компонентов вызываются соответствующие редакторы. Разработанные шаблоны могут быть применены для повторного использования, как в текущем проекте, так и в последующих при условии их сохранения в пользовательской библиотеке компонентов.

Конечным результатом работы инструментальной системы *TRACE MODE* 6 является набор файлов, предназначенных для исполнения задач АСУ в мониторах реального времени на АРМ и в контроллерах. В рассматриваемых далее случаях в качестве МРВ для АРМ будет использоваться профайлер с поддержкой графических экранов *rtc.exe*, а для контроллера – без поддержки графических экранов *rtmg*32.*exe*, расположенные в директории инструментальной системы *TRACE MODE* 6. Профайлер позволяет запускать на компьютере с установленной инструментальной системой один узел разработанного проекта. Узлы проекта, запущенные в отладчиках *TRACE MODE* 6 на разных компьютерах, могут обмениваться данными как по сети, так и по последовательным коммуникациям. На одном компьютере с несколькими сетевыми адаптерами, соединенными через *hub* или *switch*, можно одновременно запускать соответствующее количество узлов, обменивающихся данными по сети. На одном компьютере с несколькими последовательными портами, соединенными соответствующим образом (для двух – нуль-модемным кабелем), можно запускать также несколько узлов, обменивающихся данными по интерфейсам *RS*232/485.

Порядок выполнения лабораторной работы

В лабораторной работе студентам предлагается вариант системы автоматизации *SCADA*-система *TRACE MODE* + программируемый контроллер ПЛК160.

Порядок выполнения лабораторной работы заключается в следующем:

1) Конфигурирование устройства и разработка управляющей программы.

2) Разработка и настройка в инструментальной среде следующих компонентов:

- системы визуализации (экрана контроля и управления);
- области «Источники/приёмники»;
- области «Каналы»;
- привязка источников к каналам.

3) Создание исполнительного файла для среды исполнения.

4) Отладка.

Порядок разработки системы автоматизации на базе *SCADA*-системы *TRACE MODE* и программируемого контроллера ПЛК160:

1) Программирование ПЛК160 в программной среде *CoDeSys* 2.3. Выполняется в соответствии с методическими указаниями к лабораторной работе №5.

Так как в рассматриваемом варианте обмен информацией между *SCADA*-системой *TRACE MODE* и программируемым контроллером ПЛК160 осуществляется посредством использования *OPC*-сервера, то в программном блоке *POU* необходимо только определить переменные, которые будут участвовать в обмене данными (рис. 31).

2) Далее необходимо настроить конфигурацию проекта для совместной работы с *OPC*-сервером *CoDeSys* 2.3:

– на вкладке «Ресурсы» найдите пункт «Настройки целевой платформы» (рис. 32);

```
0001 PROGRAM PLC_PRG
0002 VAR
0003     Din AT %IX0.0:BOOL;
0004     Dout AT %QX2.0:BOOL;
0005     Ain AT %IB1.0:BYTE;
0006     Aout AT %QB3.0:BYTE;
0007 END_VAR
```

Рис. 31. Определение переменных программы

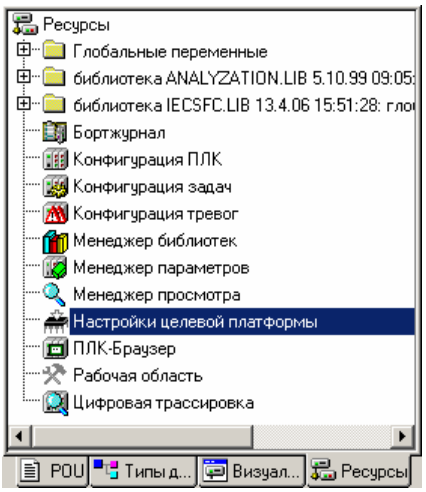


Рис. 32

– в появившемся окне в вкладке «Общие» установить галочку напротив пункта «Загружать символьный файл» (рис. 33);

– выбрать в меню «Проект» пункт «Опции». В разделе «Символьная конфигурация» установить галочку напротив пункта «Создавать описания»;

– нажать кнопку «Настроить символьный файл». В открывшемся окне «Установка атрибутов объекта» выделить те переменные, с которыми нужно будет работать в *SCADA*-системе, и нажать кнопку «ОК» (рис. 34);

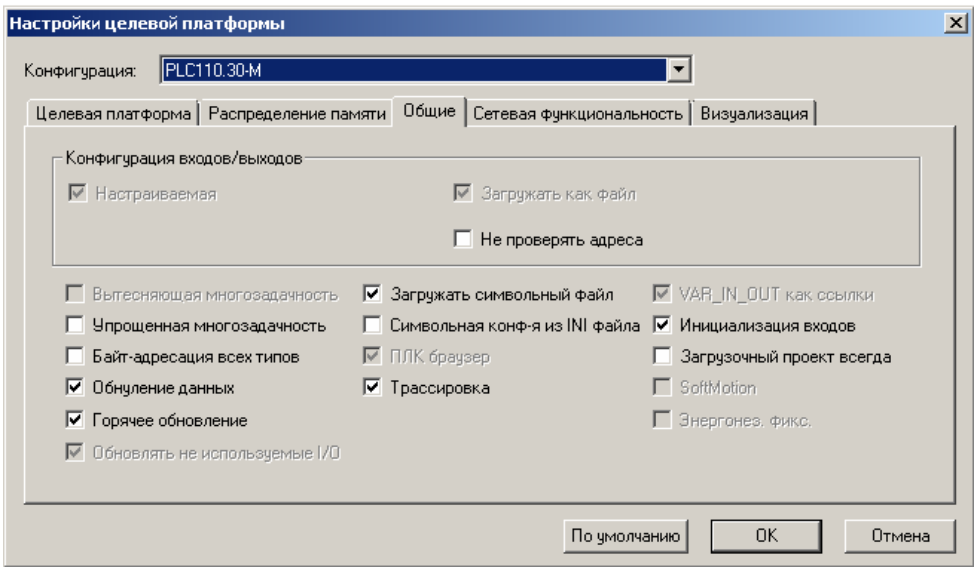


Рис. 33

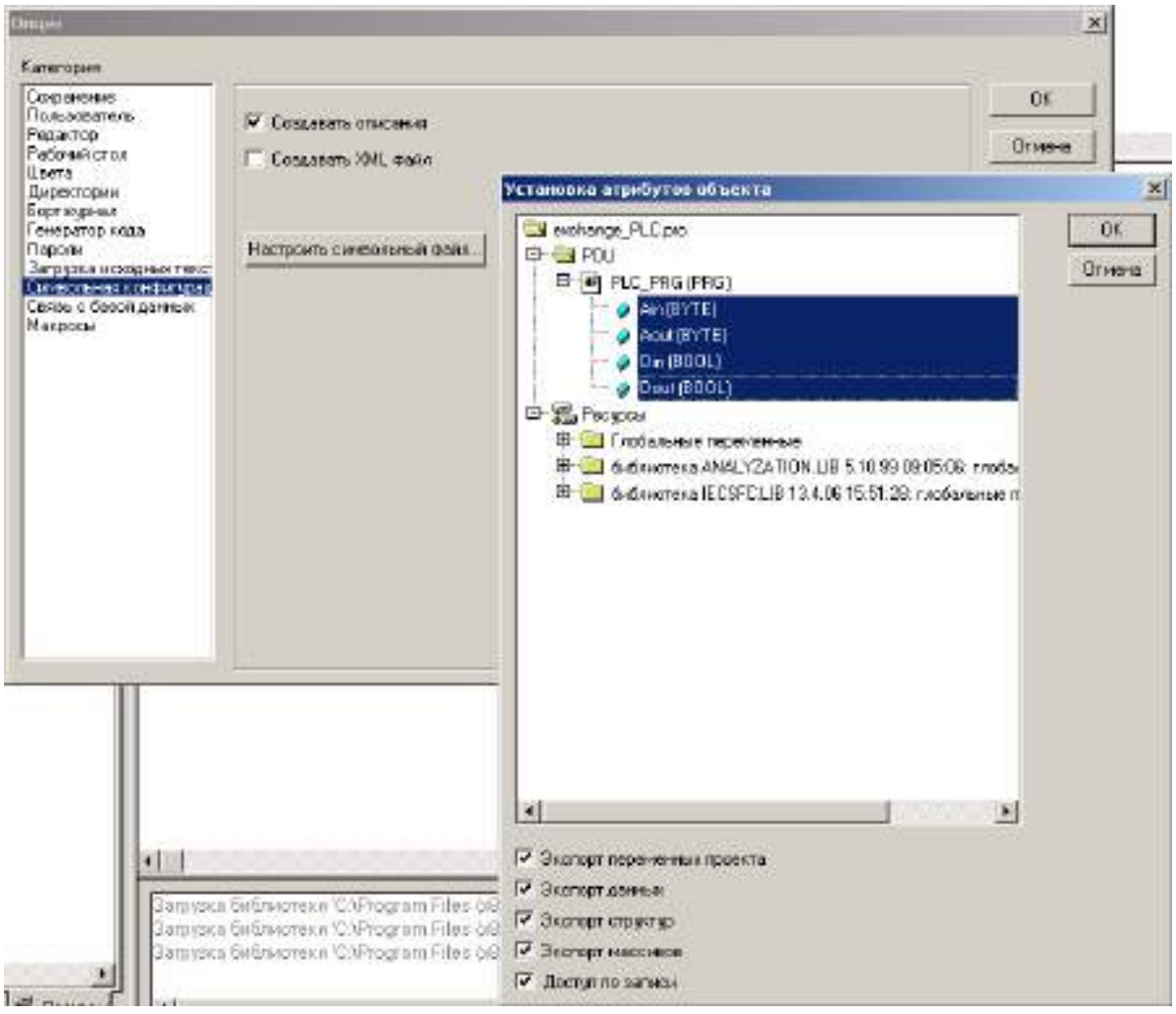


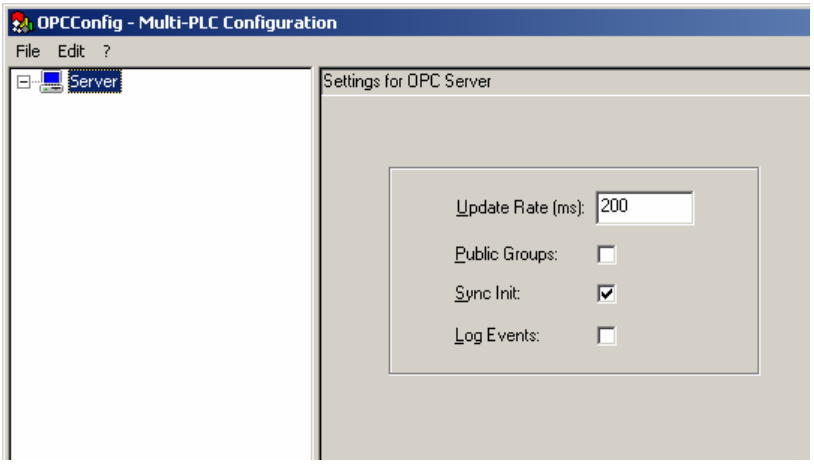
Рис. 34

– выполнить компиляцию проекта. Для этого выбрать в меню «Проекты» пункт «Компилировать все»;

– сохранить проект. Затем связаться с ПЛК, выбрав пункт «Подключение» в меню «Онлайн». После установки связи в меню «Онлайн» выбрать пункт «Создать загрузочный проект». Дождаться окончания загрузки проекта в ПЛК.

3) Конфигурирование *OPC*-сервера с помощью программы *OPC Configurator*:

– запустить программу *CoDeSys OPC Configurator* (рис. 35а). Это можно сделать через кнопку «Пуск» в Windows (Пуск → Программы → *3S Software* → *Communication* → *CoDeSys OPC Configurator*);

а) 

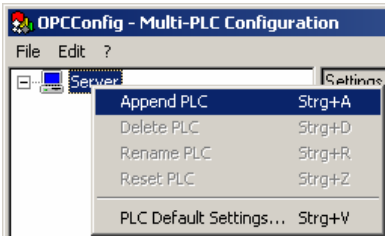
б) 

Рис. 35

– нажать правой кнопкой мыши на надписи «*Server*». В появившемся контекстном меню необходимо выбрать пункт «*Append PLC*» (рис. 35б). После этого в окне добавится значки PLC1 и Connection;

– выделить PLC1 и в появившемся поле ввода «*Project name*» ввести имя проекта, который был загружен в ПЛК (рис. 36);

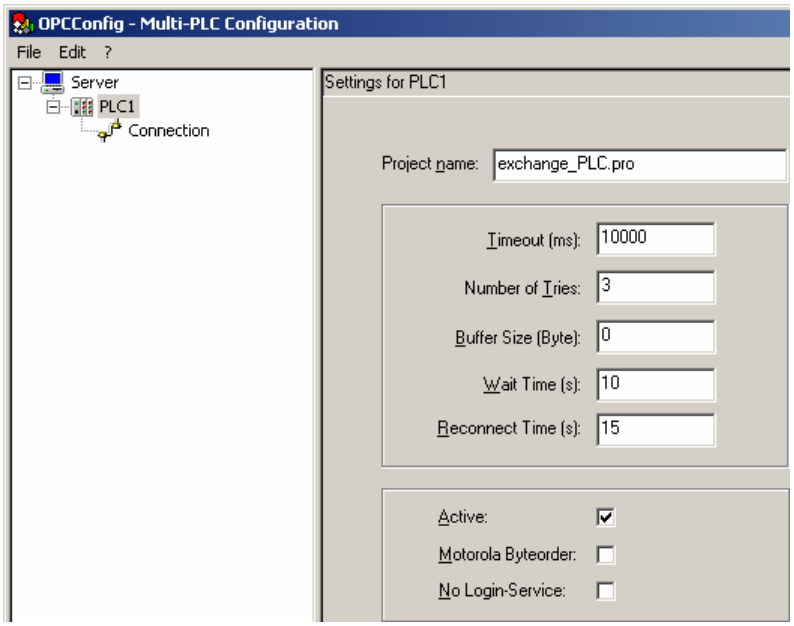


Рис. 36

– выделить значок Connection и нажать кнопку «*Edit*» (рис. 37). В появившемся окне необходимо выбрать интерфейс и параметры сетевого обмена между ПЛК и компьютером. Эта процедура аналогична настройке сетевого обмена с ПЛК, описанной в методических рекомендациях к лабораторной работе по изучению программируемого контроллера ПЛК160. После выполнения всех необходимых действий таблица, приведенная на рис. 37, будет заполнена значениями параметров сетевого обмена. После этого программу *CoDeSys OPC Configurator* можно закрыть. После выполнения всех этих действий данные из *OPC*-сервера можно использовать в *SCADA*-системе.

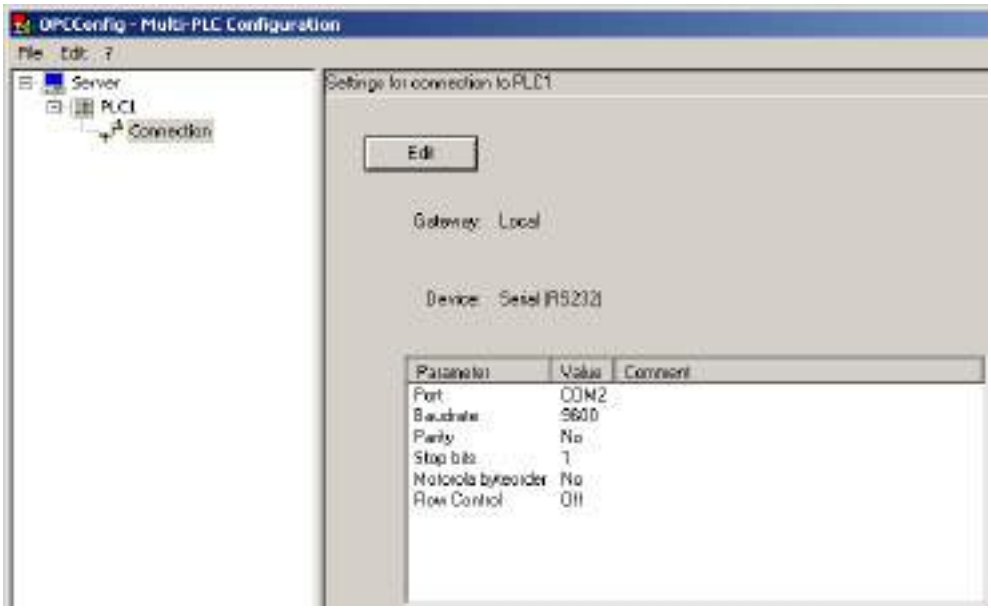


Рис. 37

4) Разработка исполнительной среды (исполнительного файла) *SCADA*-системы *TRACE MODE* выполняется в следующей последовательности:

– запустить инструментальную систему *TRACE MODE* 6 двойным щелчком левой кнопки мыши по иконке «*TRACE MODE*» рабочего стола *Windows* или из меню «Пуск»;

– в открывшемся окне выбрать *Файл* → *Новый*;

– в окне навигатора проекта представлены слои проекта. В слое «Система» создать новый узел *RTM*_1, нажав правую клавишу мыши и выбрав в открывшемся меню *Новый узел* → *RTM*;

– в созданном узле установить один экран. Для этого необходимо нажать правую клавишу мыши на узле *RTM*_1 и выбрать *Создать компонент* → *Экран*. Окно навигатора проекта примет вид, представленный на рис. 38;



Рис. 38. Внешний вид проекта

– дважды щелкнув левой клавишей мыши по элементу «Экран#1:1» открыть созданный экран. В нем, используя графические элементы «Кнопка» , выключатель , плоские фигуры и «Текст» , создать экран для визуализации обмена между *SCADA*-системой *TRACE MODE* и программируемым контроллером ПЛК160 (рис. 39);

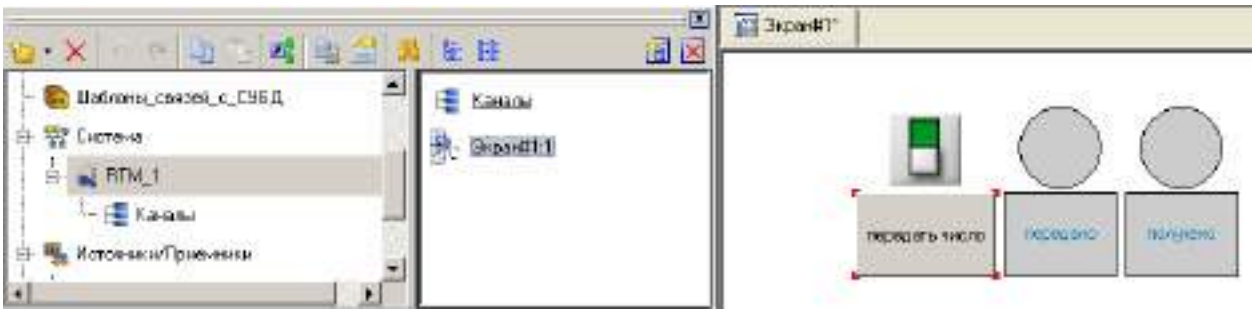
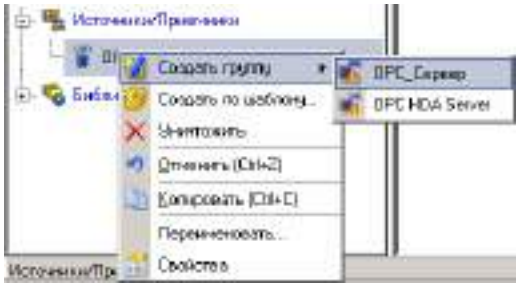


Рис. 39. Экран визуализации обмена между *SCADA*-системой и контроллером

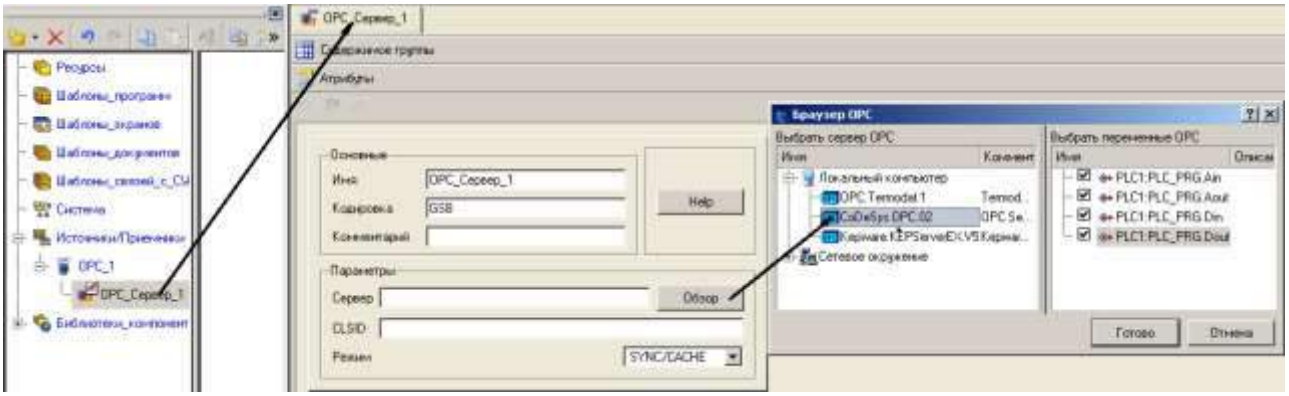
– в слое «Источники/приемники» создать группу «*OPC*_1», для чего необходимо выбрать «Источники/приемники» и, нажав правой клавишей мыши, в открывшемся окне выбрать *Создать группу* → *OPC*;

– в группе «*OPC*_1» создать группу «*OPC* Сервер» (рис. 40а). Для этого необходимо выбрать «*OPC*_1» и, нажав правой клавишей мыши, в открывшемся окне выбрать *Создать группу* → *OPC* Сервер;



а)

б)



в)

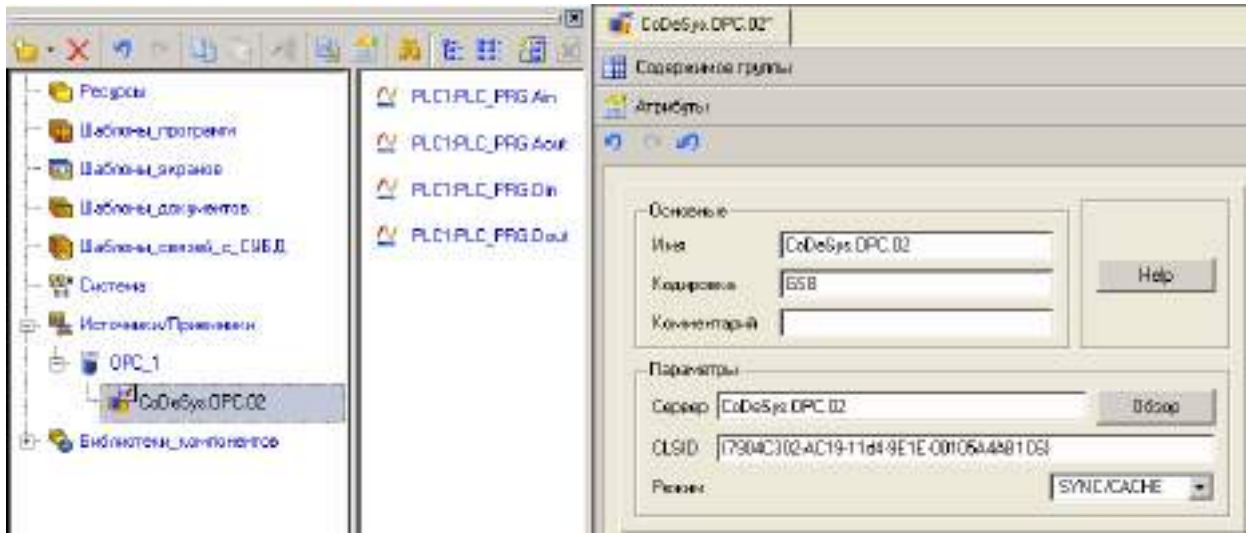


Рис. 40. Создание точек ввода/вывода в слое «Источники/приемники»

– правой клавишей мыши нажать на группе «*OPC*_Сервер_1» и в выпадающем меню выбрать пункт «Редактировать». В окне «Содержимое группы» (рис. 40б) в строке «Сервер» нажать кнопку «Обзор» и в открывшемся окне выбрать требуемый сервер *OPC – CoDeSys.OPC*.02. При выборе сервера в правой части окна отобразятся все созданные ранее переменные OPC. Необходимо установить галочку напротив требуемой переменной, после чего нажать «Готово». В результате этих действий в группе «*CoDeSys.OPC*.02» будет создано 4 точки ввода/вывода (рис. 40в);

– настроить свойства созданных точек ввода/вывода, для чего два раза щелкнуть левой клавишей мыши по необходимой точке ввода/вывода и в открывшемся окне задать настройки для точки в соответствии с табл. 13;

Таблица 13

№	Точка	Направление	Формат
1	*PLC*1:*PLC_PRG.Ain*	*Input*	Аналог
2	*PLC*1:*PLC_PRG.Aout*	*Output*	Аналог
3	*PLC*1:*PLC_PRG.Din*	*Input*	Дискрет
4	*PLC*1:*PLC_PRG.Dout*	*Output*	Дискрет

– создать каналы. Для этого для удобства необходимо открыть дополнительное окно навигатора, нажав кнопку «Открыть дополнительное окно навигатора» .

Используя указатель мыши последовательно перетащить созданные точки ввода/вывода в группу «Каналы» узла *RTM*_1 (рис. 41);

– открыв экран, в меню «Вид» выбрать «Аргументы экрана». В открывшееся окно последовательно перетащить созданные каналы (см. рис. 41), после чего созданные аргументы экрана привязать к элементам экрана, последовательно перетащив аргументы на изображения элементов в соответствии с табл. 14;

Таблица 14

№	Канал	Аргумент	Элементы экрана
1	*PLC*1:*PLC_PRG.Ain*	*PLC*1:*PLC_PRG.Ain_R*	Текст «получено»
2	*PLC*1:*PLC_PRG.Aout*	*PLC*1:*PLC_PRG.Aout_R*	Кнопка «передать число», текст «передано»
3	*PLC*1:*PLC_PRG.Din*	*PLC*1:*PLC_PRG.Din_R*	Объект «л2»
4	*PLC*1:*PLC_PRG.Dout*	*PLC*1:*PLC_PRG.Dout_R*	Выключатель, объект «л1»

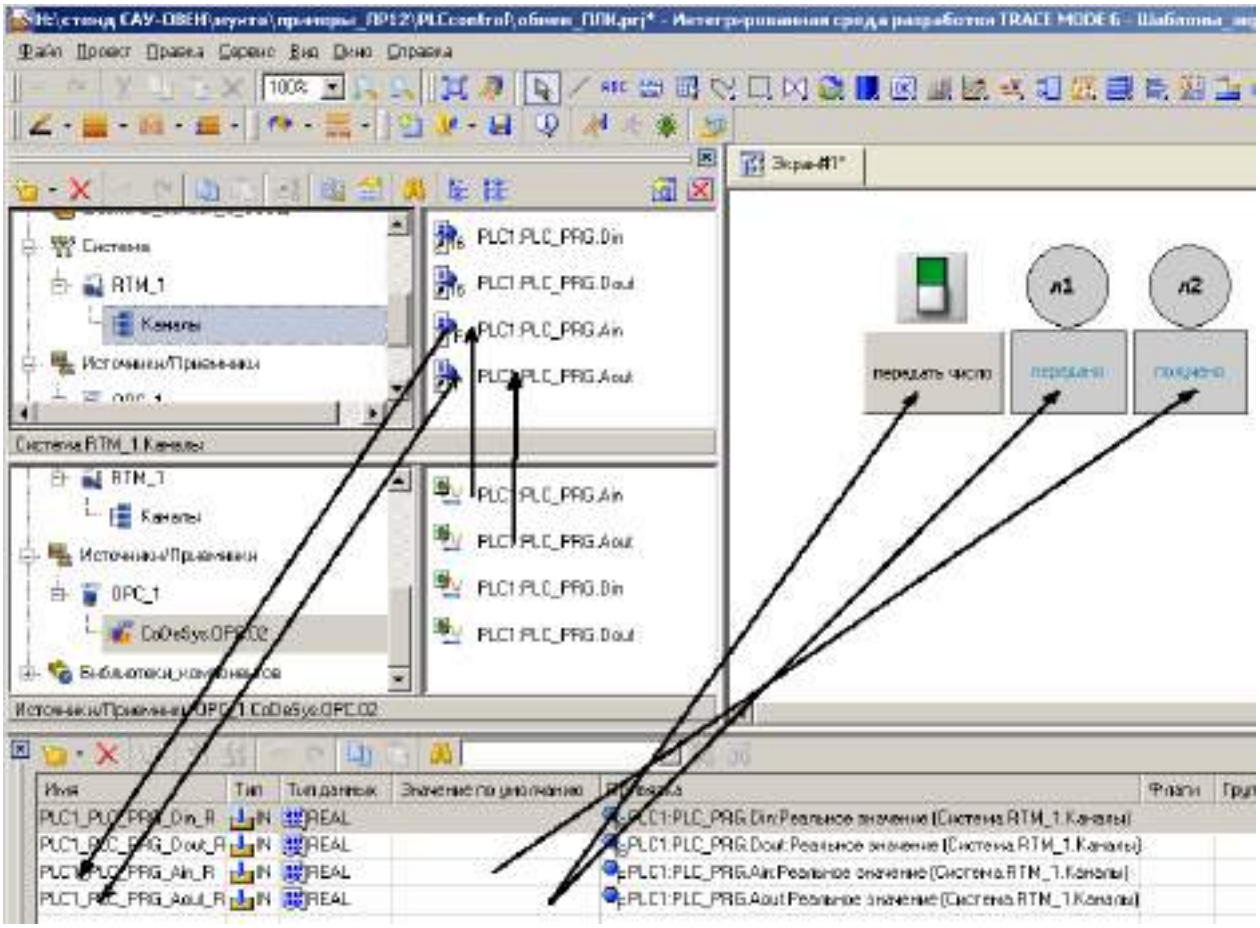


Рис. 41. Создание каналов и их привязка

– настроить свойства элементов экрана. Для этого дважды щелкнуть левой клавишей мыши по требуемому элементу. В открывшемся окне свойств для кнопки выбрать закладку «События» (рис. 42а), для выключателя, эллипса и текстового поля – «Общие свойства» (рис. 42б – 42г). Для кнопки необходимо настроить свойства передачи в закладке «Передать значение» в соответствии с табл. 14, для ламп – таблица 15, а для текстового поля в закладке «Текст» проверить правильность привязки элемента экрана и канала в соответствии с табл. 16;

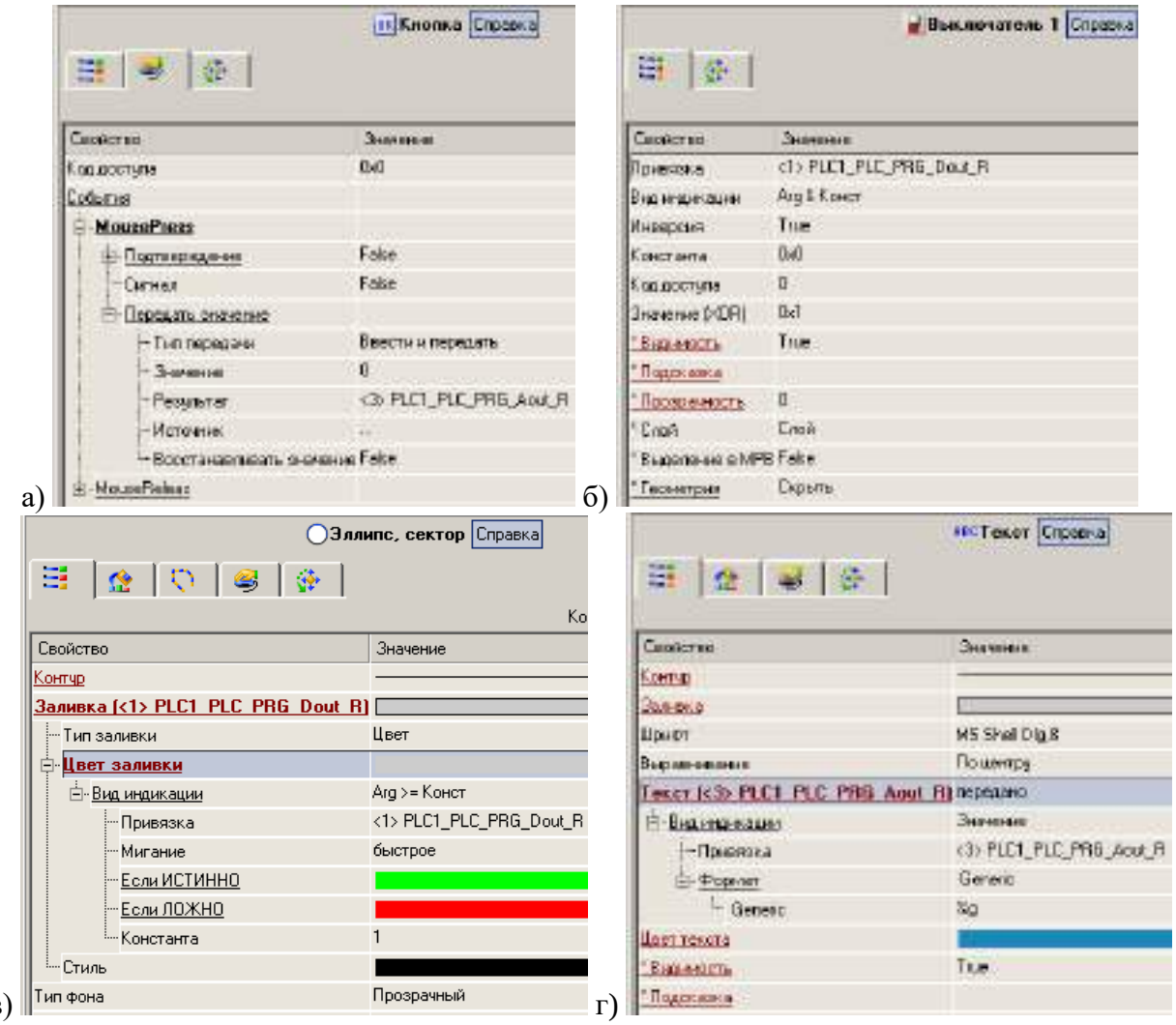


Рис. 42. Настройка свойств графических элементов

Таблица 14

№	Графический элемент	Тип передачи	Результат	Значение
1	Кнопка «передать число»	Ввести и передать	*PLC*1:*PLC_PRG.Aout_R*	0

Таблица 15

№	Графический элемент	Функция	Вид индикации	Привязка	Константа
1	Объект «л1»	Заливка	*Arg = Const*	*PLC*1:*PLC_PRG.Dout_R*	1
2	Объект «л2»	Заливка	*Arg = Const*	*PLC*1:*PLC_PRG.Din_R*	1

Таблица 16

№	Графический элемент	Функция	Вид индикации	Привязка	Формат
1	Текст «передано»	Текст	Значение	*PLC*1:*PLC_PRG.Aout_R*	*generic, %g*
2	Текст «получено»	Текст	Значение	*PLC*1:*PLC_PRG.Din_R*	*generic, %g*

– выделить узел *RTM*_1 и нажать кнопку «Сохранить для МРВ»  на панели меню для создания исполнительного файла для монитора реального времени (МРВ). В результате выполнения этой процедуры в папке с фалом проекта должна появиться папка с таким названием, в которой располагается папка «*RTM*_1». В этой папке находится исполнительный файл для профайлера (исполнительной среды), имеющий имя «*Имя файла_0*».

3) Проверка правильности работы системы выполняется в следующей последовательности:

– подать питание на лабораторный стенд и используемые в лабораторной работе модули. При необходимости перевести программируемый контроллер ПЛК160 в режим «РАБОТА», нажав соответствующую кнопку на лицевой панели контроллера;

– запустить исполнительный файл дважды щелкнув по названию файла. В открывшемся окне для запуска профайлера необходимо нажать кнопку «Запуск»  ;

– используя кнопки на экране монитора, передать дискретное или числовое значение. На лицевой панели модуля должно отобразиться изменение состояний выходов контроллера. Аналогично проверить получение сигналов от контроллера: включая тумблеры на лицевой панели модуля, наблюдать изменение отображаемых значений в соответствующих числовых полях;

– при необходимости исправить ошибки, заново сохранить, нажав кнопку «Сохранить для МРВ» и проверить в профайлере.

Требования к отчёту

Отчет должен содержать:

1. цель работы;
2. описание технологической задачи по варианту, конфигурацию или технологическую схему автоматизированного объекта, обозначение переменных;
3. параметры программируемого контроллера введенные в него при конфигурировании;
4. проект для инструментальной среды SCADA-системы с коментариями.
5. описание методики и экспериментальной проверки работоспособности системы автоматизации;
6. выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что означает термин «конфигурирование контроллера»?
2. В какой последовательности осуществляется конфигурирование ПЛК160?
3. В какой последовательности осуществляется разработка *SCADA*-проекта?
4. Как осуществляется обмен информацией между программируемым контроллером и *SCADA*-системой?
5. Как осуществляется конфигурирование *OPC*-сервера?
6. Как в лабораторной работе проверить правильность работы разработанной системы автоматизации?

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

Методические указания к выполнению лабораторных работ Часть 2

Б1.В.05 МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА В МЕХАТРОНИКЕ И РОБОТОТЕХНИКЕ

Направление -
15.03.06 Мехатроника и робототехника
Профиль -
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрены на заседании кафедры	Рассмотрены методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____ *(подпись)*	Председатель _____ *(подпись)*
Волков Е. Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ СТЕНДА 4
1.1 Назначение стенда 4
1.2 Состав 5
1.3 Технические характеристики стенда 5
2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ 6
2.1 Работа №1. Изучение бесконтактных датчиков технологической информации 6
2.2 Работа №2. Изучение дискретной системы управления двигателем постоянного тока на основе программируемого логического контроллера 10
2.3 Работа №3. Синтез и анализ алгоритмов управления мехатронной станцией сборки деталей 14

1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ СТЕНДА

1.1 Назначение стенда

Лабораторный стенд предназначен для изучения программируемого логического контроллера с объектом управления в виде мехатронного модуля – сборки деталей. Стенд позволяет изучить основы построения систем цикловой автоматики. Элементная база мехатронного модуля состоит из ленточного конвейера с электроприводом постоянного тока, модуля подачи базовых деталей, модулей подачи крышек из различного материала, пневматических толкателей и датчиков различного типа.

Внешний вид учебного комплекта представлен ниже (см. Рисунок 1).



Рисунок 1 – Внешний вид стенда ММ-СБ-НН

1.2 Состав

Лабораторный стенд включает в себя следующие компоненты (см. Таблица 1).

Таблица 1 – Состав

№	Наименование	Кол-во
1	Моноблок, содержащий: источник питания, программируемый логический контроллер, элементы индикации и управления	1 шт.
2	Мехатронный модуль сборки деталей	1 шт.
3	Модуль пульта симуляции	1 шт.
4	Компрессор	1 шт.
5	Ноутбук	1 шт.
7	Комплект кабелей и принадлежностей для проведения лабораторных работ	1 шт.
8	Техническое описание	1 шт.
9	Методические указания к проведению лабораторных работ	1 шт.

1.3 Технические характеристики стенда

Общие технические характеристики типового комплекта учебного оборудования представлены ниже (см. Таблица 2).

Таблица 2 – Технические характеристики

Параметр	Значение
Напряжение электропитания, В	220
Частота питающего напряжения, Гц	50
Потребляемая мощность, ВА	1600
Габаритные размеры, мм	480x600x650
Масса, кг	60 кг
Диапазон рабочих температур	+10…+35 ˚С
Относительная влажность воздуха, не более	80%

2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

2.1 Работа №1. Изучение бесконтактных датчиков технологической информации

Цель работы

Приобретение опыта работы с устройствами детектирования, идентификации и управления.

Содержание работы

Дома, при подготовке к работе:

– Изучить назначение, технические характеристики пульта управления, основные узлы и возможности лабораторного стенда;

– Изучить описание мехатронного модуля, ознакомиться с характеристиками всех его элементов;

– Уделить особое внимание датчикам, которые применяются в мехатронном модуле;

В лаборатории:

– Закрепить полученные при подготовке к лабораторной работе знания на практике;

Общие сведения

Мехатронный модуль представляет собой набор узлов, пневматических и электрических компонентов, объединенных в единое мехатронное устройство, имитирующее участок сборки деталей.

Модуль содержит следующие устройства детектирования и идентификации:

1. Датчик втянутого положения штока цилиндра узла выдачи заготовок – магнитный концевой выключатель B1 типа – D-A93 (характеристики представлены в техническом описании стенда);

2. Датчик выдвинутого положения штока цилиндра узла выдачи заготовок – магнитный концевой выключатель B2 типа – D-A93 (характеристики представлены в техническом описании стенда);

3. Датчик наличия заготовок в магазине узла выдачи заготовок – световой барьер BQ1, типа – BF3RX-P (характеристики представлены в техническом описании стенда);

4. Датчик типа материала заготовки – индуктивный концевой выключатель B3 типа – ВБИ-М18-34У-1111-3 (характеристики представлены в техническом описании стенда);

5. Датчик наличия заготовки в зоне выдачи крышек – световой барьер BQ2, типа – BF3RX-P (характеристики представлены в техническом описании стенда);

6. Датчик наличия заготовки в зоне накопительного узла – диффузионный оптический датчик B4, типа – BEN300-DDT (характеристики представлены в техническом описании стенда);

7. Датчик наличия крышек в магазине узла выдачи крышек 1 – световой барьер BQ3, типа – BF3RX-P (характеристики представлены в техническом описании стенда);

8. Датчик наличия крышек в магазине узла выдачи крышек 2 – световой барьер BQ4, типа – BF3RX-P (характеристики представлены в техническом описании стенда);

Модуль содержит следующие устройства управления:

1. Подача заготовки на ленту из магазина узла выдачи заготовок – пневматический цилиндр двухстороннего действия YA1, типа – CD85N16-60-B, на штоке которого закреплен пластиковый толкатель (характеристики представлены в техническом описании стенда);

Управление пневмоцилиндрами осуществляется с помощью пневмораспределителей с электроуправлением PYA1 типа – SY3120-5LOU-C4-Q, закрепленном на пневмоострове

2. Пуск/стоп двигателя постоянного тока узла конвейера – двигатель постоянного тока с редуктором A1, типа – RB3500090-30Y02R, управляемого контроллером UT-DrDPT-M01 имеющий возможность реверса A2 (характеристики представлены в техническом описании стенда);

3. Комплектовка заготовки крышкой из магазина узла выдачи крышек 1 – пневматический цилиндр двухстороннего действия YA2, типа – CD85N16-60-B, на штоке которого закреплен пластиковый толкатель (характеристики представлены в техническом описании стенда);

Управление пневмоцилиндрами осуществляется с помощью пневмораспределителей с электроуправлением PYA2 типа – SY3120-5LOU-C4-Q, закрепленном на пневмоострове

4. Комплектовка заготовки крышкой из магазина узла выдачи крышек 2 – пневматический цилиндр двухстороннего действия YA3, типа – CD85N16-60-B, на штоке которого закреплен пластиковый толкатель (характеристики представлены в техническом описании стенда);

Управление пневмоцилиндрами осуществляется с помощью пневмораспределителей с электроуправлением PYA3 типа – SY3120-5LOU-C4-Q, закрепленном на пневмоострове

Ход работы

Для проведения данной лабораторной работы необходимо использовать мехатронный модуль – сборка деталей (Рисунок 2) и пульт ручного управления модулем (Рисунок 3).

1. Подключить мехатронный модуль (Терминал подключения к ПЛК *UT-CRP-M01*) к Пульту ручного управления;
2. Подавая сигналы с тумблеров пульта ручного управления зафиксировать срабатывание всех устройств управления;
3. Произвести требуемые воздействия для срабатывания устройств детектирования и идентификации и зафиксировать индикацию соответствующих светодиодов пульта симуляции.
4. Выполнить отчет о проделанной работе

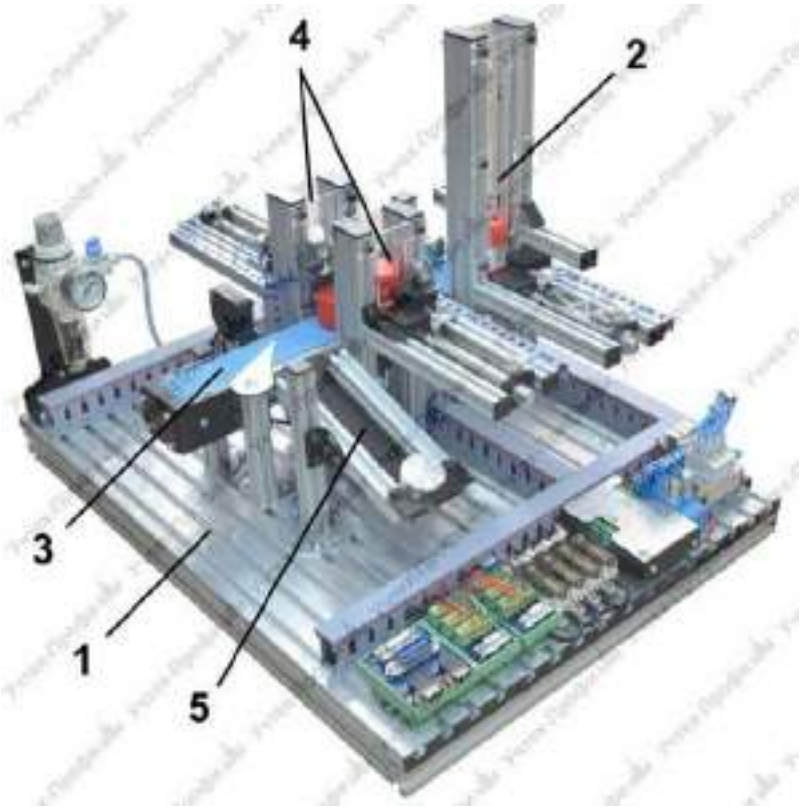


Рисунок 2 – Мехатронный модуль – сборка деталей



Рисунок 3 – Пульт ручного управления модулем

2.2 Работа №2. Изучение дискретной системы управления двигателем постоянного тока на основе программируемого логического контроллера

Цель работы

Ознакомиться с принципом работы дискретной системы управления, изучить назначение и технические характеристики датчиков и устройств управления, приобрести навыки разработки алгоритма управления, а также программирования данной системы с применением специализированного программного обеспечения.

Содержание работы

Дома, при подготовке к работе:

– Изучить назначение, технические характеристики логического моноблока ОВЕН ПЛК160, основные узлы и возможности лабораторного стенда;

– Изучить систему команд и принципы программирования ПЛК160;

– Изучить описание мехатронного модуля, ознакомиться с характеристиками всех его элементов;

– Выполнить синтез системы автоматизации согласно выданному варианту задания;

– Составить программу для ввода в контроллер;

В лаборатории:

– Закрепить полученные при подготовке к лабораторной работе знания на практике;

– Отладить мехатронный модуль в ручном режиме;

– С помощью разработанного алгоритма выполнить управление мехатронной станции.

Общие сведения

Текущую работу рекомендуется выполнять после успешного завершения лабораторной работы №1 текущих методических указаний, подробное описание устройств детектирования, идентификации и управления переведено в лабораторной работе №1 и в техническом описании стенда.

Для проведения данной лабораторной работы необходимо использовать мехатронный модуль – сборка деталей (Рисунок 4) и лабораторный моноблок «ОВЕН ПЛК 160» (Рисунок 5).

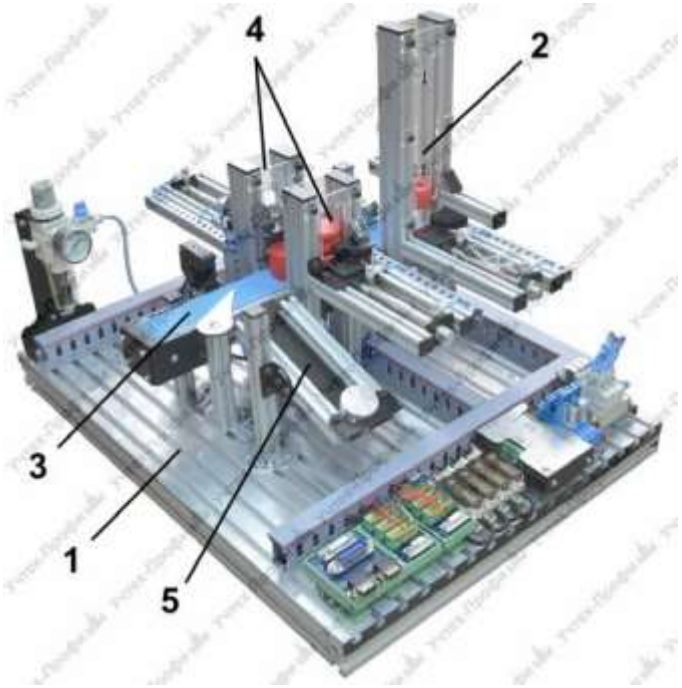


Рисунок 4 – Мехатронный модуль – сборка деталей

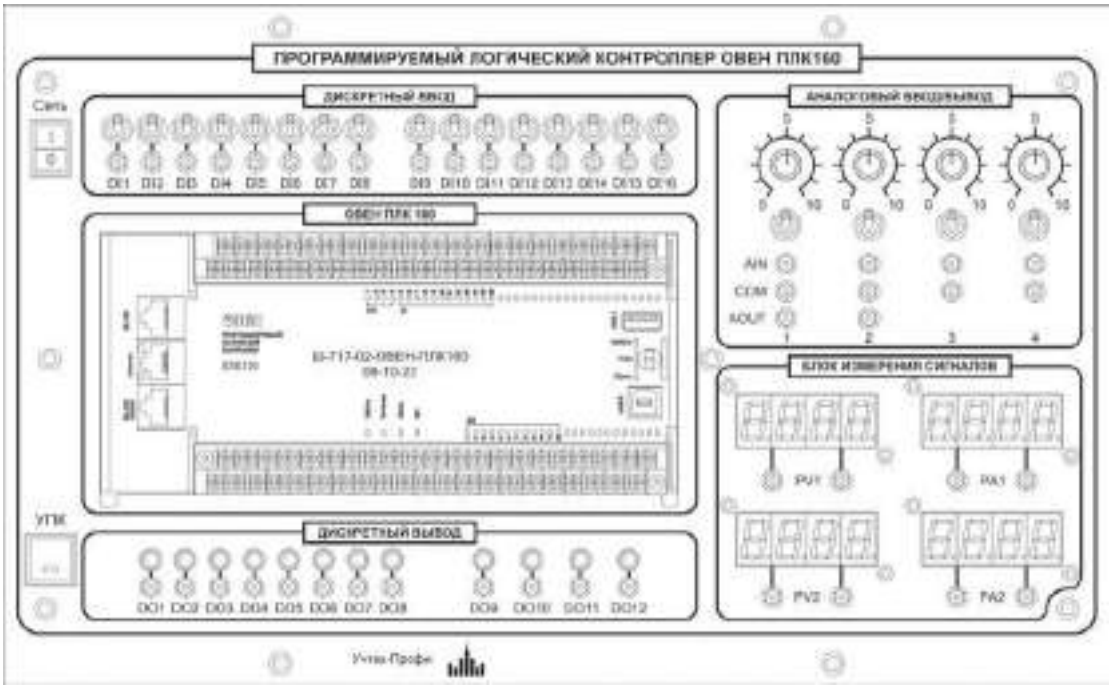


Рисунок 5 – Лабораторный моноблок «ОВЕН ПЛК 160»

Подключить мехатронный модуль (Терминал подключения к ПЛК *UT-CRP-M01*) к ПЛК (разъем X2, который находится на тыльной стороне кожуха моноблока «ОВЕН ПЛК 160»).

При подключении используется кабель 24Pin(M) – 24Pin(F).

В качестве датчика начального положения используется датчик типа материала заготовки – индуктивный концевой выключатель B3 типа – ВБИ-М18-34У-1111-3 (характеристики представлены в техническом описании стенда);

В качестве датчика конечного положения используется датчик наличия заготовки в зоне накопительного узла – диффузионный оптический датчик B4, типа – BEN300-DDT (характеристики представлены в техническом описании стенда);

Объект для перемещения – металлическая заготовка.

Ход работы

Выполнить подготовительные работы, установить металлическую деталь в начало конвейера и в соответствии со своим вариантом выполнить индивидуальное задание. Убедиться в правильности работы алгоритма.

Подготовить отчет о выполненной работе.

Таблица 3 – Варианты заданий

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
Пуск автоматического режима управления	DI16	DI15	DI14	DI13
Останов автоматического режима управления	DI13	DI14	DI15	DI16
Индуктивный датчик B3 (правый)	DI4	DI4	DI4	DI4
Диффузионный датчик B4 (левый)	DI6	DI6	DI6	DI6
Пуск двигателя A1	DO2	DO2	DO2	DO2
Реверс двигателя A2	DO3	DO3	DO3	DO3
Задержка *t*, сек	3	4	2	5
Кол-во циклов *k*	3	2	4	5

Варианты заданий

При подготовке к лабораторной работе студент должен в соответствии с таблицей (см. Таблица 3) выбрать свой вариант задания и заполнить коммутационную таблицу подключения мехатронного объекта к ПЛК.

Для заданного варианта необходимо разработать алгоритм его решения и составить программу для контроллера ОВЕН ПЛК160.

Запустить программу в работу и убедиться в правильности ее работы. При наличии ошибок в работе устранить их и продемонстрировать преподавателю работу правильно функционирующей программы. Подготовить отчет о выполненной работе.

Вариант 1 и 2.

После включения тумблера «Пуск автоматического режима управления» программа переходит в режим ожидания заготовки правым датчиком. После появления заготовки в поле зрения датчика, лента конвейера перемещает её до левого датчика и ожидает t секунд. Затем конвейер возвращает заготовку в исходное место. Данный цикл повторяется k раз.

Вариант 3 и 4

После включения тумблера «Пуск автоматического режима управления» программа переходит в режим ожидания заготовки правым датчиком. После появления заготовки в поле зрения датчика, лента конвейера перемещает её до левого датчика и сразу же возвращает в исходное место. По истечении t секунд цикл повторяется. Данный цикл повторяется k раз.

2.3 Работа №3. Синтез и анализ алгоритмов управления мехатронной станцией сборки деталей

Цель работы

Ознакомиться с принципом работы дискретной системы управления, изучить назначение и технические характеристики датчиков, приобрести навыки разработки алгоритма управления, а также программирования данной системы с применением специализированного программного обеспечения.

Содержание работы

Дома, при подготовке к работе:

– Изучить назначение, технические характеристики логического моноблока ОВЕН ПЛК160, основные узлы и возможности лабораторного стенда;

– Изучить систему команд и принципы программирования ПЛК160;

– Изучить описание мехатронного модуля, ознакомиться с характеристиками всех его элементов;

– Выполнить синтез системы автоматизации согласно выданному варианту задания;

– Составить программу для ввода в контроллер;

В лаборатории:

– Закрепить полученные при подготовке к лабораторной работе знания на практике;

– Отладить мехатронный модуль в ручном режиме;

– С помощью разработанного алгоритма выполнить управление мехатронной станции.

Общие сведения

Лабораторную работу №3 рекомендуется выполнять после успешного завершения работ №1 и №2.

Для проведения данной лабораторной работы необходимо использовать лабораторный моноблок «ОВЕН ПЛК 160» (Рисунок 6), мехатронный модуль – сборка деталей (Рисунок 7), пульт ручного управления модулем (Рисунок 8).

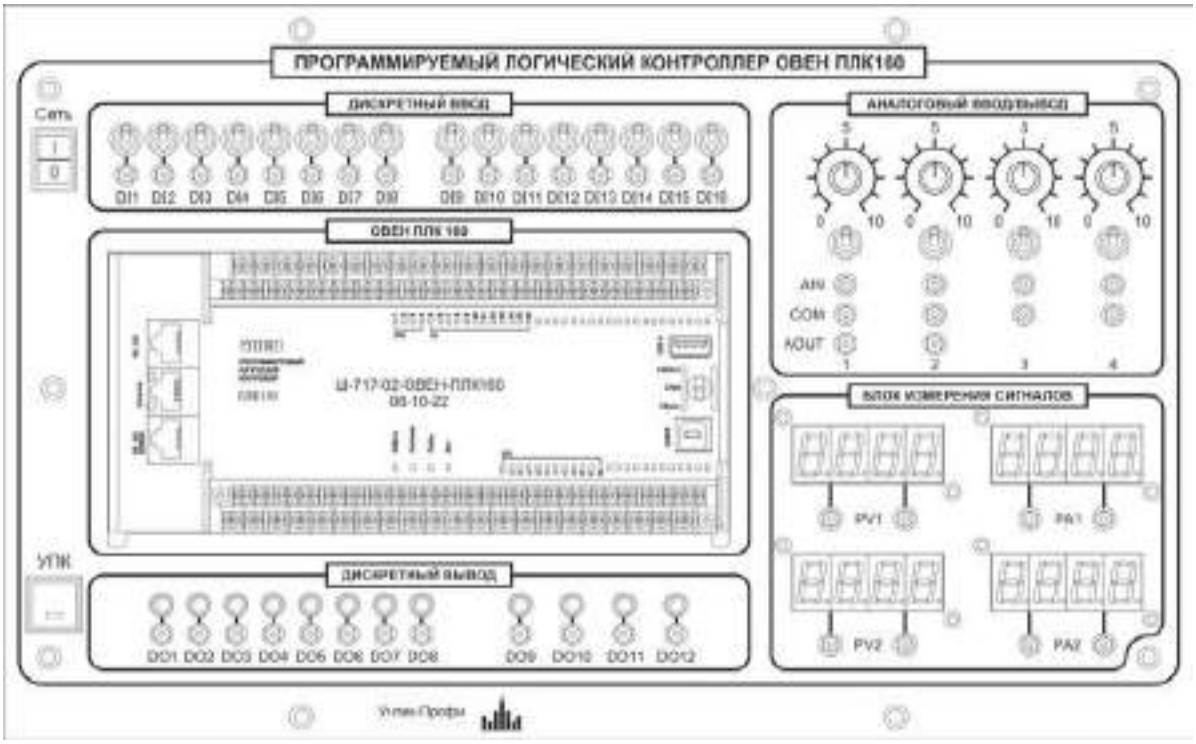


Рисунок 6 – Лабораторный моноблок «ОВЕН ПЛК 160»

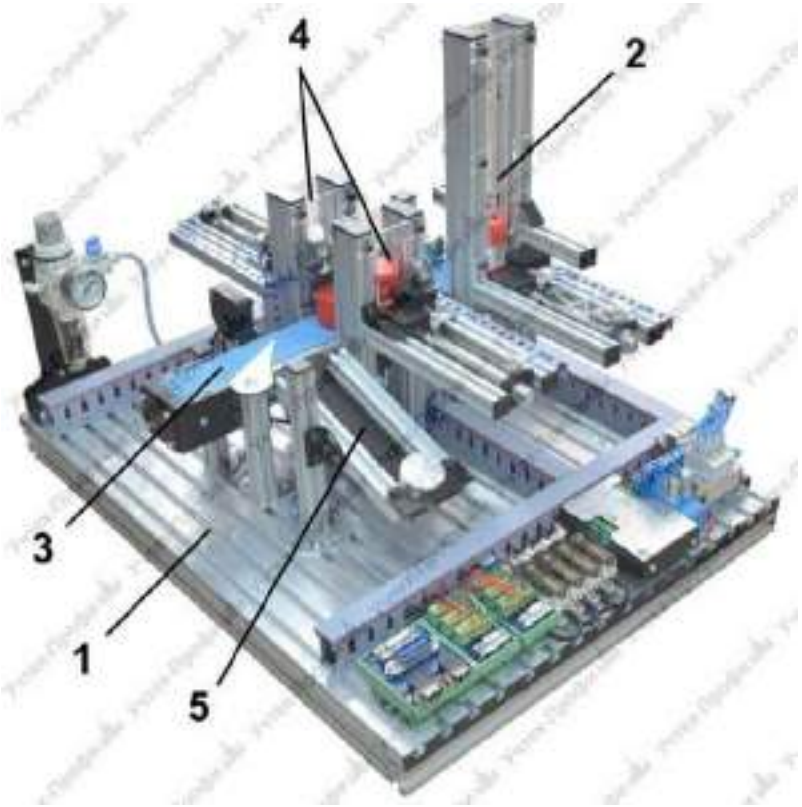


Рисунок 7 – Мехатронный модуль – сборка деталей



Рисунок 8 – Пульт ручного управления модулем

Для подключения мехатронного модуля (Терминал подключения к ПЛК *UT-CRP-M01*) к ПЛК используется разъем X2, который находится на тыльной стороне кожуха моноблока «ОВЕН ПЛК 160».

Для подключения мехатронного модуля (Терминал подключения к ПЛК *UT-CRP-M01*) к Пульту ручного управления используется разъем X1, который находится на тыльной стороне кожуха Пульта ручного управления.

При подключении используется кабель 24Pin(M) – 24Pin(F).

Порядок выполнения работы

Подключить питание к модулям, необходимым для выполнения лабораторной работы. После подключения питания следует выполнить отладку мехатронного модуля в ручном режиме, для этого:

– Подключить мехатронный модуль (Терминал подключения к ПЛК *UT-CRP-M01*) к Пульту ручного управления;

– Подавая сигналы с тумблеров пульта ручного управления (выходные сигналы) выполнить полный цикл в ручном режиме, убедиться в корректной работе датчиков в процессе работы (входные сигналы пульта ручного управления).

Полный цикл работы для мехатронного модуля сборка деталей: в узле выдачи заготовок находятся детали (металлические и пластмассовые красные/синие). При выдачи на конвейер металлической детали и при наличии крышки в узле накопления крышек 1 обеспечить выдачу крышки на деталь и ее последующий спуск в узел накопления деталей. При выдачи на конвейер

пластмассовой детали и при наличии крышки в узле накопления крышек 2 обеспечить выдачу крышки на деталь и ее последующий спуск в узел накопления деталей. При отсутствии необходимой крышки для детали – выполнить перемещение детали в узел накопления. Таблица датчиков и исполнительных элементов приведена в Приложении А технического описания стенда.

При успешном завершении полного цикла составить таблицу подключения устройств к терминалу подключения к ПЛК UT-CRP-M01 (Таблица 4).

Таблица 4 – Пример таблицы соответствия входных/выходных сигналов

Адрес	Комментарий
DI1	Датчик втянутого положения штока цилиндра УВЗ
….	….
DO1	Подача заготовки на ленту из магазина УВЗ
….	….

После проведения отладки мехатронного модуля в ручном режиме можно преступать к разработке алгоритма управления мехатронного модуля.

!В качестве примера будет рассмотрен процесс создания алгоритма управления ленточным конвейером. Разработка алгоритма для мехатронной станции – сборка деталей является самостоятельной задачей для подгруппы. (Вариации исполнения цикла работы уточняются у преподавателя).

Разработка алгоритма управления

Разработка алгоритма управления разделяется на следующие этапы:
– Словесное описание полного цикла работы;
– Разработка функциональной схемы процесса;
– Составление таблицы соответствия адресов;
– Составление логических уравнений;
– Составление программы на одном из языков программирования;
– Отладка и проверка проекта на работоспособность.

Словесное описание полного цикла работы

Конвейер начинает работать при появлении детали в области срабатывания щелевого оптического датчика. В зависимости от материала изделия следует

выполнить следующую сортировку – металлические детали поместить в приемный лоток с помощью электрического стоппера, пластмассовые детали – перемещаются до конца конвейера. Определение металлических деталей происходит с помощью, установленного вначале конвейера, индуктивного датчика.

Разработка функциональной схемы процесса

Функциональная схема системы представлена ниже (см. Рисунок 9).

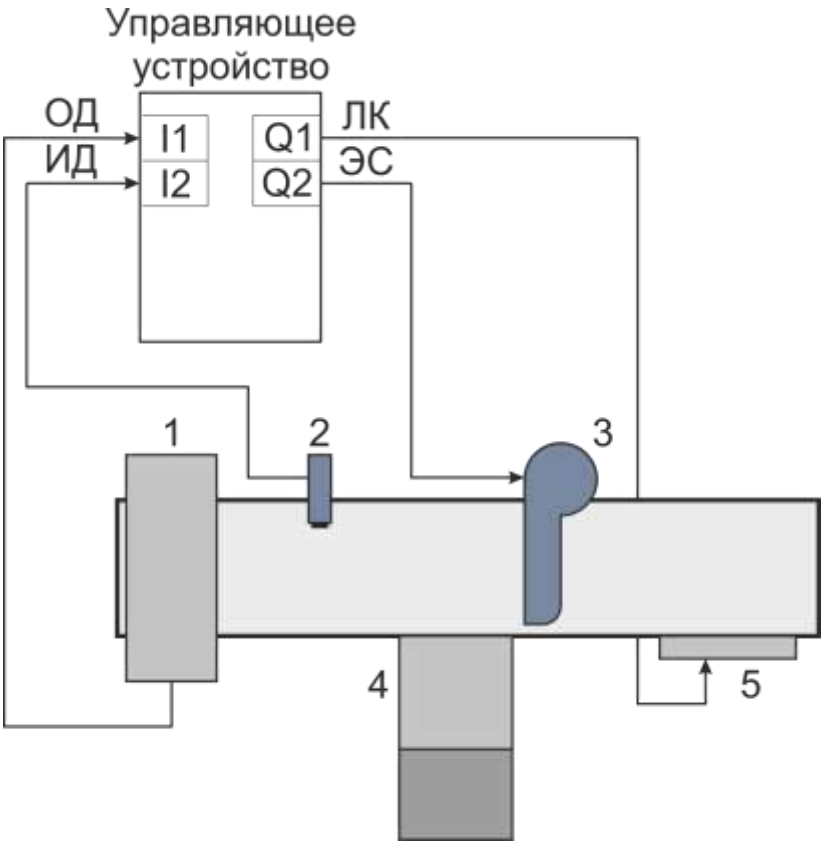


Рисунок 9 – Функциональная схема системы

На функциональной схеме изображается управляющее устройство и его выходные/выходные сигналы. Так же на схеме необходимо отобразить главные узлы технологического процесса, в данном случае: 1 – щелевой оптический датчик, 2 – индуктивный датчик, 3 – электрический стоппер, 4 – приемный лоток, 5 – двигатель ленточного конвейера.

Составление таблицы соответствия адресов

Для структурирования и удобности создания программы управления, необходимо составить таблицу соответствия адресов (Таблица 12).

Таблица 5 – Таблица соответствия адресов

Адрес переменной	Имя переменной	Комментарий
I1	ОД	Сигнал с щелевого оптического датчика о наличии заготовки
I2	ИД	Сигнал с индуктивного датчика о наличии металлического объекта на конвейере
Q1	ЛК	Управляющий сигнал на двигатель ленточного конвейера
Q2	ЭС	Управляющий сигнал на электрический стоппер

Составление логических уравнений

Для реализации системы управления технологическим процессом необходимо составить логические уравнения в адресах или в буквенных обозначениях переменных (по усмотрению преподавателя) которые обеспечат корректное выполнение полного цикла работы. В примере будут приведены уравнения в адресах управляющего устройства.

1. При наличии детали в области срабатывания щелевого оптического датчика конвейер начинает свое движение в течении следующих девяти секунд

$$Q1 = (I1 + Q1) \cdot \overline{Q1^{\uparrow 9c}}$$

↓ – Задержка сигнала по заднему фронту, ↑ – по переднему.

2. При наличии сигнала с индуктивного датчика подается управляющий сигнал на электрический стоппер для помещения металлической детали в накопительный лоток.

$$Q2 = (I2 + Q2) \cdot \overline{Q2^{\uparrow 9c}}$$

Составление программы на одном из языков программирования

После написания логических уравнений следует создать проект в программной среде CODESYS для ПЛК160. Подробное описание создания проекта представлено в методических указаниях часть 1 и написать программу для последующей загрузки ее в контроллер. Программа написанная на языке ST, для загрузки в управляющее устройство имеет следующий вид (Рисунок 10).

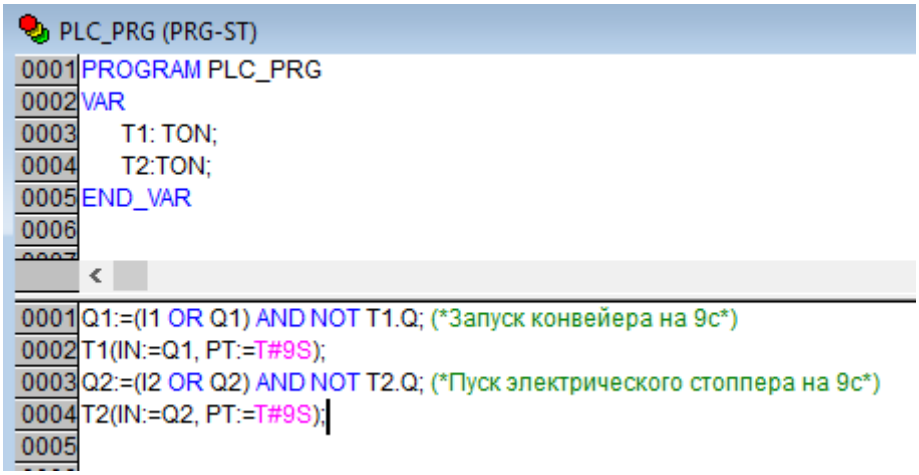


Рисунок 10 – Алгоритм на языке ST для реализации требуемого цикла работы

Отладка и проверка проекта на работоспособность

Последний этап разработки проекта автоматизации – отладка и проверка проекта на работоспособность. Провести тестирование системы в нескольких циклах, убедиться в её корректной работе, при наличии ошибок – провести корректировку проекта.

Задание

Подробно ознакомиться с разобранным примером создания алгоритма управления мехатронным объектом. Выполнить все этапы разработки алгоритма автоматизации технологического процесса для мехатронной станции – сборка деталей. Написать отчёт о проделанной работе.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С. А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.В.05 МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА В МЕХАТРОНИКЕ И РОБОТОТЕХНИКЕ

Направление -
15.03.06 Мехатроника и робототехника
Профиль -
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрены на заседании кафедры	Рассмотрены методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Волков Е. Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

ЕКАТЕРИНБУРГ

ЛЕКЦИЯ 1. 4

ВВЕДЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ БОЛЬШИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ КОМПЛЕКТОВ. 4

Микропроцессоры и микроконтроллеры 5

Микросхемы памяти 6

ЛЕКЦИЯ 2. 17

Программируемые логические интегральные схемы 17

Направление развития микроэлектронных компонентов вычислительных систем 21

ЛЕКЦИЯ 3. 21

АРХИТЕКТУРА И СТРУКТУРА МИКРОПРОЦЕССОРОВ. ЦИКЛ РАБОТЫ МИКРОПРОЦЕССОРА: ТИПЫ АДРЕСАЦИИ И СИСТЕМА КОМАНД. 21

Типы команд микропроцессоров. 21

Структурный параллелизм микропроцессоров 22

ЛЕКЦИЯ 4. 24

Структурные методы уменьшения времени доступа к памяти 24

CISC- и RISC- процессоры. 30

ЛЕКЦИЯ 5. 35

Методы ускорения переключения контекста процессора 35

Стандартизация архитектур микропроцессоров 36

ЛЕКЦИЯ 6. 38

ILP ПРОЦЕССОРЫ 38

Архитектура ILP- процессоров 38

Суперскалярные процессоры 40

VLIW-процессоры. 47

EPIC-процессоры. 48

Направления развития ILP архитектуры. 49

ЛЕКЦИЯ 7. 50

МУЛЬТИСКАЛЯРНЫЕ ПРОЦЕССОРЫ 50

Мультискалярная модель выполнения программы. 50

Мультискалярные программы. 54

Мультискалярные аппаратные средства. 56

Преимущества мультискалярной архитектуры. 57

ЛЕКЦИЯ 8. 58

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСА МП УСТРОЙСТВ С ВНЕШНИМИ УСТРОЙСТВАМИ И ПАМЯТЬЮ. ВСТРОЕННЫЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ. 58

ЛЕКЦИЯ 9. 62

ОДНОКРИСТАЛЬНЫЕ МИКРО-ЭВМ. 62

Общие сведения об однокристальных микроЭВМ семейства МК48. 63

Однокристальные микро-ЭВМ семейства МК51. 65

Структура микроконтроллеров семейства MCS-x96. 74

Периферийные устройства микроконтроллеров семейства MCS-x96. 76

ЛЕКЦИЯ 10. 78

Преимущества регистр-регистровой архитектуры 78

Блок-схема микроконтроллера MCS-196. 80

Регистровый файл 83

Особенность организация памяти микроконтроллеров MCS-196 84

Возможности подключения внешней памяти и внешних устройств ввода/вывода 86

ЛЕКЦИЯ 11. 87

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРОВ В ПРИВОДАХ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ. ПРИМЕРЫ МП ПРИВОДОВ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ. 87
Пример МК-системы на основе ОМЭВМ семейства МК51. 87
Унифицированная структура силовой части статических преобразователей частоты для широкого класса приводов переменного тока. 89
Универсальный контроллер для встроенных применений 93
Выводы 97
ЛЕКЦИЯ 12. 98
МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ. ТРАНСПЬЮТЕРЫ - ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ 98
Основные особенности транспьютеров 98
Архитектура и структура транспьютеров фирмы Inmos 99
ЛЕКЦИЯ 13. 109
Транспьютер Т9000 109
Транспьютероподобные микропроцессоры серии "Квант" 110

Лекция 1.

Введение. Основные типы больших интегральных схем для микропроцессорных комплектов.

Особая роль в совершенствовании систем автоматического управления в настоящее время принадлежит микроэлектронике и микропроцессорной технике, использование которых в САУ обеспечивает не только улучшение точностных характеристик, повышение отказоустойчивости, обеспечение стабильности функционирования, но и придает САУ принципиально новых свойств, таких, как гибкость и перестраиваемость структуры, адаптивность, способность решать вычислительные и логические задачи, самоконтроль и т.д.

Использование микропроцессоров в САУ требует решения целого ряда задач, специфика которых обусловлена как распределенным управлением в реальном масштабе времени, так и цифровым характером обрабатываемой информации. В связи с этим требуется подготовка специалистов обладающими знаниями и опытом по разработке и эксплуатации микропроцессорных систем различного назначения: информационных, связанных, вычислительных, управляющих и т.д.

Изучение такой интенсивно развивающейся и наукоемкой предметной области, как микроэлектроника, и микропроцессорная техника в частности - задача весьма интересная и сложная, требующая постоянного совершенствования и пополнения получаемых знаний и знакомства со смежными научно-техническими областями. Для эффективного решения прикладных задач любой современный специалист, профессионально связанный с вычислительной техникой, должен иметь адекватное представление о состоянии и перспективах развития ее элементной базы.

Создание фирмой Intel первого микропроцессора в 1971 году положило начало эпохе компьютеризации. "Благодаря микропроцессорам компьютеры стали массовым, общедоступным продуктом", - заявил Тед Хофф (Ted Поп), один из изобретателей первого микропроцессора. Его имя, вместе с именами его коллег - Федерико Феджина (Federico Faggin) и Стена Мейзора (Stan Mazor), внесено в список лауреатов Национального зала славы изобретателей США, а само изобретение признано одним из величайших достижений XX века.

За чуть более чем четверть вековую историю микропроцессоры прошли поистине гигантский путь. Первый чип Intel 4004 работал на частоте 750 КГц, содержал 2300 транзисторов и стоил около $200. Производительность его оценивалась в 60 тыс. операций в секунду. На сегодняшний день рекордные показатели принадлежат микропроцессорам Pentium 4 и составляют: 3,46 ГГц, 55 млн. транзисторов, и около $650 соответственно.

Такое интенсивное развитие технологий в обществе, где основным предметом труда становится информация, является следствием растущего спроса на новые орудия труда - компьютеры. На сегодняшний день компьютеризация является одним из главных направлений научно-

технического прогресса и концентрированным его выражением. Количество и качество производимых в стране компьютеров, степень насыщенности вычислительной техникой самых разных отраслей становится одним из основных критериев ее экономического и военного потенциала.

В формируемом ежегодно в США группой экспертов перечне "критических технологий", охватывающем практически все направления производства, исследований и разработок, оказывающих влияние на военный и экономический статус страны, микроэлектронные технологии традиционно занимают первое место.

В микропроцессорах - наиболее сложных микроэлектронных устройствах - воплощены самые передовые достижения инженерной мысли. В условиях свойственной данной отрасли производства жесткой конкуренции и огромных капиталовложений, выпуск каждой новой модели микропроцессора - так или иначе связан с очередным научным, конструкторским, технологическим прорывом.

Современная элементная база - сверхбольшие интегральные схемы (СБИС), характеризуется большим числом транзисторов на кристалле и относительно малым числом выводов у корпуса. Поэтому БИС адекватны построению логически законченных устройств.

Различные выполняемые функции и сферы применения обусловили специализацию СБИС. Достаточно условно их можно разделить на следующие классы:

1) СБИС с аппаратной реализацией алгоритмов обработки данных:

микропроцессоры универсальные и сигнальные, а также микроконтроллеры, включая интерфейсные схемы для образования мультипроцессорных систем;

2) микросхемы памяти: статические и динамические;

3) программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС).

Микропроцессоры и микроконтроллеры

Универсальные микропроцессоры предназначаются для применения в вычислительных системах: персональных ЭВМ, рабочих станциях, а в последнее время и в массово-параллельных супер-ЭВМ. Основной их характеристикой является наличие развитых устройств для эффективной реализации операций с плавающей точкой над 64 разрядными и более длинными операндами. Предназначаются в основном для проведения научно-технических расчетов.

Цифровые сигнальные процессоры рассчитаны на обработку в реальном времени цифровых потоков, образованных путем оцифровывания аналоговых сигналов. Это обусловливает их сравнительно малую разрядность и преимущественно целочисленную обработку. Однако современные сигнальные процессоры способны проводить вычисления с плавающей точкой над 32 — 40-разрядными операндами. Кроме того, появился класс медийных процессоров,

представляющих собой законченные системы для обработки аудио- и видеоинформации.

Наибольшей специализацией и разнообразием функций обладают микроконтроллеры, используемые во встроенных системах управления, в том числе в бытовых приборах. Общее число типов кристаллов с различными системами команд превышает 500, и все они, в силу существования изделий с их использованием, имеют свою устойчивую долю рынка.

По прогнозам компаний-производителей дальнейшее развитие технологии производства микропроцессоров будет идти в направлении увеличения плотности транзисторов на кристалле, роста числа слоев металлизации и повышения тактовой частоты, наряду с уменьшением напряжения питания и удельной (на один транзистор) потребляемой электрической и выделяемой тепловой энергии.

Технологический предел линейных размеров транзисторов на кристалле, обусловленный физическими ограничениями, составляет около 0,05 мкм. На пути дальнейшей миниатюризации кроме физических ограничений имеются и экономические. Для каждого следующего поколения микросхем стоимость технологии удваивается (в 1986 г. Intel 80386 имел 250 тыс. транзисторов и выпускался на заводе стоимостью 200 млн. долларов. Завод, производящий микросхемы по технологии 0,25 мкм, стоил 10 млрд. долларов). Возрастают сроки изготовления микропроцессоров, так процессор Pentium производился за шесть месяцев, а более новый Pentium Pro - за девять. Во многом уже сейчас уровень технологии, используемой в массовом производстве, определяется экономическими соображениями. Увеличение числа слоев металлизации экспоненциально повышает процент брака при производстве, увеличение площади кристалла также приводит к снижению выхода годных кристаллов. Современный уровень технологии СБИС позволяет уверенно производить схемы с проектными нормами 0,13-0,09 мкм, 5-6 слоями металлизации, площадью кристалла менее 150 кв.мм и числом транзисторов порядка 55 млн. Смена поколений микропроцессоров происходит каждые 2 года. С каждым поколением линейные размеры элементов уменьшаются в 0,7 раза. В настоящее время ширина проводников составляет 0,13 мкм, а к 2004 г. достигнет 0,09 мкм. Тактовая частота будет составлять более 4 ГГц, что существенно усложнит проблему внутрикристальных, а еще более межкристальных соединений.

Основной технологической проблемой будет, по-видимому, отвод тепла от процессоров. Уже сейчас рассеиваемая мощность некоторых процессоров составляет до 70 Вт. И в дальнейшем, с увеличением тактовой частоты и числа транзисторов, ее рост будет продолжаться. Для снижения потребляемой энергии применяются разные технологические способы - уменьшение проектных норм и снижение питающего напряжения. Если мощность и впрямь будет расти, отвод тепла действительно станет непреодолимой преградой.

Микросхемы памяти

Как известно, производительность системы определяется скоростью работы

наиболее «медленного» её компонента. Поэтому для достижения оптимального быстродействия необходимо использовать сбалансированные конфигурации. Это означает, что наиболее важные узлы микропроцессорного устройства, к которым относится процессор, набор системной логики и подсистема памяти, должны обладать приблизительно равной производительностью.

Упрощённо работу микропроцессорного устройства можно представить как последовательность операций, совершаемых над различными данными. Задача процессора заключается в выполнении этих операций, а подсистемы памяти – в доставке данных и сохранении результатов. Взаимодействие процессора и памяти управляется чипсетом либо осуществляется напрямую.

Естественно, что для создания быстрого микропроцессорного устройства необходимо прежде всего обеспечить высокую скорость выполнения операций. Но даже самый совершенный процессор, работая в связке с памятью обладающей недостаточной пропускной способностью, окажется бесполезен, т.к. попросту будет простаивать в ожидании очередных порций информации. Поэтому для современных приложений большое значение имеет пропускная способность памяти, объём и сколько задержки в выдаче данных при каждом обращении (латентность).

Любой подсистеме памяти соответствует набор характеристик, которые более-менее полно будут описывать её возможности. К ним, в первую очередь относится частота работы памяти (частота передачи данных) и разрядность шины. Эти два показателя определяют теоретическую пропускную способность шины памяти, которая равна произведению разрядности и частоты. В действительности теоретическая пропускная способность не достижима из-за присутствия латентности (в среднем 60-80%).

В спецификациях модулей часто указывается время доступа (численно оно равно обратной величине рабочей частоты) и представляет собой длительность одного такта. Т.о., чем меньше время доступа, тем на большей частоте сможет работать модуль памяти.

В настоящее время в микропроцессорных устройствах широко применяется многоуровневая иерархическая архитектура памяти, где на верхнем уровне иерархии расположена более быстродействующая кэш-память, в которую в процессе вычислений помещаются интенсивно используемые фрагменты программного кода и обрабатываемых данных. В реальных системах используется до 3 уровней кэш-памяти. Разработчики используют более быстродействующую и, соответственно, более дорогую память в наиболее "ответственных" узлах системы.

Оперативная память (энергозависимая, т.е. теряющая запомненную информацию при снятии питания) случайного доступа RAM развивается уже довольно долгое время, и к настоящему моменту сформировались две основные её разновидности – статическая (SRAM) и динамическая (DRAM). Их отличие заключается в способе хранения данных. Динамическая память (память использует для запоминания бита информации состояния конденсатора "заряжен - не заряжен") требует постоянного обновления записанной

информации с периодом порядка десятков мсек, что сказывается на увеличении латентности. При этом она проста и дёшева в производстве. Статическая память, наоборот, достаточна дорога за счёт более сложного устройства ячеек (статические микросхемы памяти запоминают биты данных в триггерах, что требует 4-6 транзисторов для хранения бита), но обладает очень низкой латентностью. Тем не менее именно стоимость во многом определяет популярность продукции. Поэтому SRAM не получила большого распространения в модулях ОЗУ, зато активно применяется в процессорах в качестве кеша 2-го уровня.

В одной из первых разновидностей DRAM под названием EDO RAM применялся асинхронный режим доступа (процессор при считывании данных приостанавливает свою работу), что приводило к существенной потере производительности системы. Но несколько лет назад рынок стал заполняться новым типом DRAM – SDRAM с синхронным режимом работы.

Память SDRAM представляет собой набор элементарных ячеек, в каждой из которых может быть записан 1 бит информации. Они объединяются в матрицы, по номерам строк и столбцов которых производится адресация. Физически каждая ячейка DRAM состоит из конденсатора и транзистора. И в этом кроется основной недостаток DRAM. Дело в том, что конденсатор не может самостоятельно поддерживать электрический заряд, поэтому для функционирования ячейку необходимо периодически подзаряжать. Эта процедура должна повторяться и после каждой операции чтения, что в определенных случаях существенно увеличивает латентность.

Поиск ячейки в матрице осуществляется с помощью двух сигналов – RAS и CAS. Первый несёт информацию о номере строки, второй – о номере столбца.

Операцию считывания данных из ячейки можно разбить на несколько элементарных стадий:

пересылка запроса процессора набору системной логики (1 такт системной шины);

перенаправление запроса на банк памяти, соответствующий запрашиваемому адресу (1 цикл работы ОЗУ);

поиск необходимой строки в матрице (2-3 цикла) – “RAS-to-CAS delay” или “RAS-to-CAS latency”;

поиск необходимого столбца в найденной строке, т.е. ячейке, располагающейся на их пересечении (2-3 цикла) – CAS-латентность;

непосредственно считывание и помещение информации в выходной буфер (1 цикл);

передача считанной информации набору системной логики (1 цикл);

перенаправление её процессору (1 такт системной шины).

Т.о., простая на первый взгляд операция растягивается на 9-11 тактов системной шины и соответственно 45—55 тактов процессора при множителе 5. Но столь большая задержка имеет место лишь при считывании первых 8

байтов. Тогда как другие ячейки из той же строки будут доступны уже по истечении лишь времени CAS-латентности. Если же происходит последовательное чтение ячеек, то задержки будут отсутствовать вовсе. С другой стороны, возможен вариант, когда первая и вторая считываемые ячейки располагаются в одном банке, но на разных строках. В этом случае к выше перечисленным задержкам добавится ещё одна – “Precharge delay”, необходимая на подзарядку первой ячейки после операции считывания (2-3 цикла).

Три выше упомянутых параметра - CAS-латентность, RAS-to-CAS-латентность и “Precharge delay” – образуют набор таймингов модуля памяти.

Общая латентность системы складывается не только из задержек выдачи данных ОЗУ, но и времени их пересылки процессору.

Наименьшие потери при пересылке данных будут иметь место при синхронном обмене информацией, т.е. когда частоты системной шины и шины памяти совпадают. При использовании асинхронного режима появляется дополнительная латентность, вызванная необходимостью согласования двух шин.

DDR SDRAM является эволюционным шагом в развитии обычной памяти SDRAM. Основное отличие между ними заключается в способе передачи данных. В DDR SDRAM используется так называемая DDR (Double Data Rate) технология, при которой для кодирования информации используются как передний, так и задний фронт тактового импульса. В результате при той же частоте FSB эффективная частота шины памяти удваивается. При этом на удвоенной частоте передаются только данные, а пересылка адресов осуществляется на основной частоте. В остальном модули SDRAM и DDR SDRAM мало отличаются друг от друга.

Подобная схема передачи данных весьма чувствительна даже к самой незначительной задержке тактового сигнала, поэтому, в отличие от SDRAM, для синхронизации передачи данных помимо сигнала тактового генератора применяется дополнительный сигнал DQS. Этот сигнал передается параллельно с тактовым сигналом и корректирует процесс передачи данных для каждой линии шины данных. Для выдачи сигнала DQS, означающего доступность данных на выходе, используется специальный цикл с фиксированной задержкой DLL (Delay Locked Loop).

Для точной синхронизации сигналов DQS и передачи данных (DQ) соответствующие проводники имеют одинаковую длину и емкость. Таким образом, колебания напряжения и температуры одинаково отражаются на обоих сигналах, что обеспечивает отсутствие нарушения синхронизации между контроллером памяти и микросхемами модулей памяти. Дополнительный контроль синхронизации передачи данных обеспечивает более надежную и высокую скорость передачи данных, чем при использовании только сигнала тактового генератора. Чтение и запись данных производится не в соответствии с тактовым сигналом, а синхронизируется сигнал DQS (рис. 1).

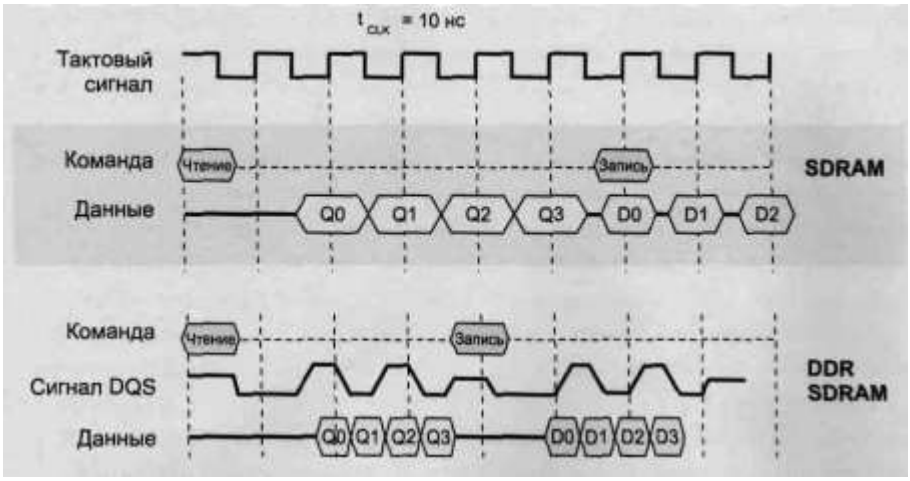


Рис. 1. Временная диаграмма DDR SDRAM

Архитектура микросхемы состоит из четырех независимых банков (рис. 2).

При тактовой частоте 100 и 133 МГц пропускная способность шины памяти DDR SDRAM составляет соответственно 1,6 и 2,1 Гбайт/с.

В настоящее время тактовая частота шины памяти с поддержкой DDR SDRAM составляет 100, 133, 166, 200 МГц, соответствующие микросхемы памяти называются соответственно DDR200, DDR266, DDR333 и DDR400, а модули памяти PC1600, PC2100, PC2700 и PC3200 (в названии модулей указана фактическая пропускная способности шины памяти в Гб/сек).

Дальнейшим развитием технологии DDR SDRAM является технология DDR II. Появление этого типа памяти ожидается в 2003 году. В отличие от DDR SDRAM в DDR П за один такт по каждой линии будет перерваться не 2, а 4 бита информации (при 64-разрядной шине — 32 байта), что вдвое увеличит пропускную способность шины памяти. Естественно, данный подход требует более совершенной системы синхронизации. Рабочие напряжения DDR П уменьшены с 2,5 до 1,8 В. Микросхемы выполнены в корпусе микро-BGA.

Первоначально модули DDR-II будут работать на эффективных частотах 400, 533 и 667 Мгц, что позволит говорить о теоретической пропускной способности 3,2, 4,2 и 5,3 Гб/сек.

Для уменьшения времени доступа к данным планируется использовать технологию Virtual Channel (разработанную компанией NEC), а также кэширование информации.

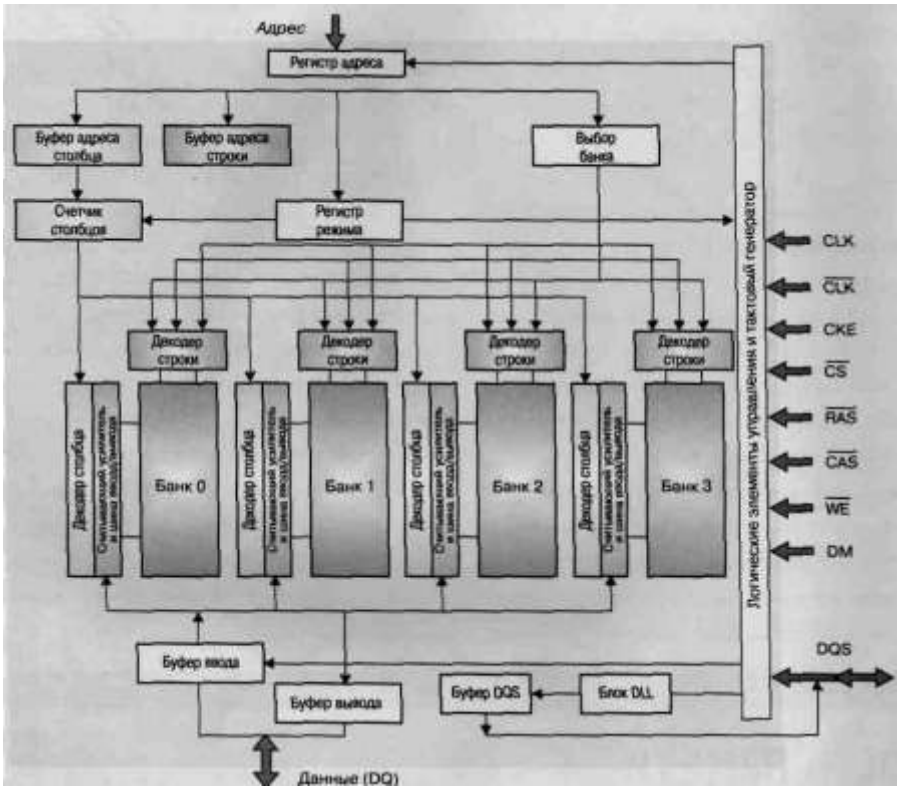


Рис. 2. Структурная схема DDR SDRAM

Следующий большой шаг в развитии DDR SDRAM должен будет произойти лишь 2007 году, когда планируется появление памяти следующего стандарта DDR-III. По предварительным данным, стартовая эффективная частота модулей составит 800 Мгц, которая впоследствии вырастет до 1,5 Ггц. Планируется дальнейшее понижение напряжения питания до 1,2 В. Будут приняты специальные меры по борьбе с возникающими на высоких частотах помехами.

В ближайшее время может появиться ещё один тип ОЗУ – QBM SDRAM. QBM (Quad Band Memory) фактически представляет собой слегка усовершенствованную память DDR, но с увеличенной вдвое теоретической пропускной способностью. При производстве модулей QBM используются те же самые чипы DDR SDRAM. Однако циклы работы половины из них смещены на четверть такта. В результате ширина шины как бы увеличивается до 128 бит, а модуль как бы превращается в двухканальный (для PC2100 пропускная способность составит 4,2 Гб/сек).

Повышение пропускной способности шины памяти может осуществляться либо за счёт увеличения тактовой частоты шины, либо её разрядности. К сожалению, внутреннее устройство SDRAM не позволяет существенно продвинуться в этой области. Дело в том, что каждая разрядная линия шины памяти при распространении по ней переменного сигнала неизбежно излучает электромагнитные волны. Чем выше частота сигнала и плотность расположения линий, тем сильнее влияние излучаемых помех на сигнал. Поэтому у памяти SDRAM существует предел пропускной способности. Чтобы как можно ближе к нему подобраться, можно увеличивать частоту шины при неизменном количестве разрядов. Но есть и альтернативное решение – заметно сократить количество линий в шине, что позволит существенно увеличить

частоты. Именно эта идея и была реализована в памяти Rambus DRAM.

Разрядность шины большинства модулей RDRAM составляет 16 бит, а рабочая частота 400 МГц. К тому же в памяти RDRAM используется DDR-технология. Поэтому эффективная частота шины равняется 800 Мгц. Модули RDRAM должны устанавливаться парами, т.к. предназначены для работы в двухканальной конфигурации. Т.о., суммарная теоретическая пропускная способность – 3,2 Гб/сек.

Несмотря на принципиально иной подход к организации памяти, ячейки RDRAM не отличаются от ячеек SDRAM – это та же совокупность транзистора и конденсатора. Тем не менее для реализации RDRAM потребовалось перестроить инфраструктуру модулей. Если у SDRAM один банк состоит из 8 чипов, то у RDRAM, наоборот, каждый чип является независимым и сам может состоять из нескольких десятков банков. В результате такого «распараллеливания» RDRAM способна производить гораздо больше, чем SDRAM, операций чтения за один и тот же промежуток времени. Причём латентность при считывании окажется незначительной как раз из-за того, что многие банки памяти могут постоянно держаться открытыми. С помощью подобных технических решений достигается высокая эффективность использования шины памяти – более 90%.

Обратная сторона медали заключается в усложнении модулей. В отличии от SDRAM чипы RDRAM необходимо оснащать управляющей логикой, что увеличивает их площадь, а высокая частота функционирования приводит к значительному тепловыделению. Более того, сложность в проектировании и производстве определила высокую конечную стоимость, что и сказалось в итоге на отсутствии популярности данного типа памяти среди массового потребителя.

Но у RDRAM есть ещё один серьёзный недостаток – высокая латентность при выдаче первых байтов информации, которая может в 2-3 раза превышать соответствующую латентность памяти SDRAM. В результате RDRAM показывает рекордную пропускную способность при считывании потоковых данных, располагающихся друг за другом. Но в задачах с хаотическим характером обращения к памяти эффективность использования шины памяти резко снижается.

Вся подсистема памяти Rambus состоит их следующих компонентов (рис. 3):

• контроллера памяти (RMC — Rambus Memory Controller);

• Rambus-канала (RC — Rambus Channel);

• генератора тактовых импульсов (DRCG — Direct Rambus Clock Generator);

• микросхемы памяти RDRAM (Rambus DRAM), которая установлена на модулях памяти RIMM (Rambus In-line Memory Module).

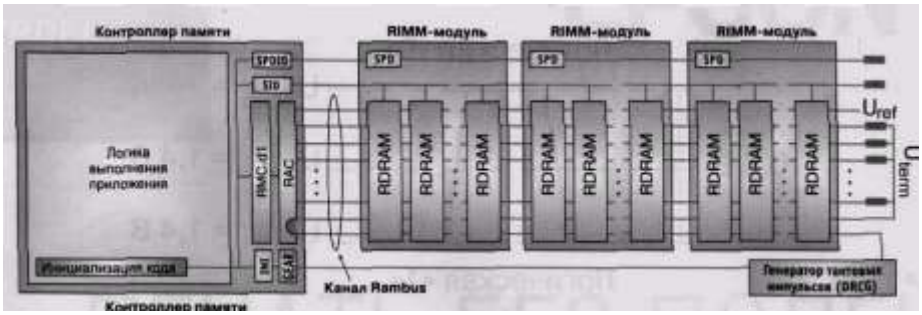


Рис.3 Подсистема памяти RambusDRAM.

Rambus-канал

Rambus-канал (рис. 4) предназначен для осуществления электрической связи между контроллером памяти и микросхемами RDRAM. Физически он представляет собой шину, которая состоит из 30 проводников, разведенных строго параллельно на материнской плате.

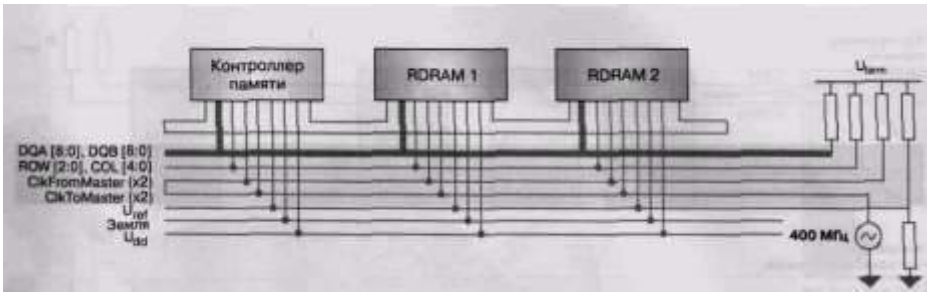


Рис.4 Схема Rambus-канала

Сигналы в Rambus-канале передаются в соответствии с высокоскоростным протоколом сигналов RSL (Rambus Signal Levels). Согласно данному протоколу осуществляется низковольтовый перенос номинальных напряжений логического «0» и логической «1» с разностью 800 мВ (рис. 5).



Рис.5

Генератор тактовых импульсов

Rambus-канал является синхронным. Команды и данные передаются параллельно по переднему и заднему фронту синхроимпульсов, создаваемых генератором тактовых импульсов (рис.6).

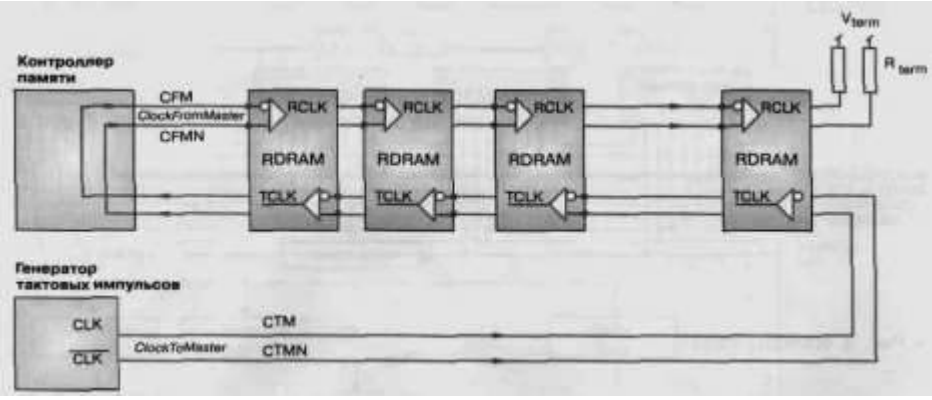


Рис.6 Схема генератора тактовых импульсов

Конструктивно генератор тактовых импульсов может быть интегрирован в контроллер памяти или установлен в виде отдельной микросхемы (в 24-контактном корпусе типа SSOP).

Передача данных

Данные и служебные биты передаются по каждому фронту тактового сигнала с частотой 800 МГц (1,25 нс), что соответствует скорости передачи 800 Мбит/с на линию. Таким образом, пропускная способность шины составляет 1,6 Гбайт/с. Передача данных осуществляется только между контроллером и микросхемами памяти, обмен только между микросхемами невозможен.

Вся информация передается по Rambus-каналу пакетами (пакеты строк, столбцов и данных). Каждый пакет передается за четы ре такта (10 нс).

Конвейеризация

Операция чтения/записи в Rambus-канале могут быть конвейеризированы. В этом случае время задержки первого пакета составляет 50 нс, далее операции чтения/записи осуществляются практически непрерывно.

При последовательном чередовании двух операций записи и двух операций чтения, адресованных к одной микросхеме, пропускная способность канала составляет 86% от предельной, а при адресации к разным микросхемам — 95%.

Контроллер памяти

Контроллер памяти Rambus осуществляет управление системой памяти RDRAM и основные функции мультиплексирования/демультиплексирования при преобразовании данных, передающихся по 16-разрядной последовательной шине Rambus-канала в 64-разрядную системную шину. Контроллер принадлежит к семейству специализированных интегрированных микросхем ASIC (Application Specific Integrated Circuits). Данные микросхемы способны объединить в себе функции, обычно реализуемые целым набором микросхем, но при этом оказываются существенно быстрее, компактнее и дешевле.

Основным элементом контроллера памяти Rambus (RMC — Rambus Memory Controller) является специализированная микросхема библиотеки макроядра (RAC — Rambus ASIC Cell). Здесь происходит преобразование высокоскоростных сигналов RSL канала Rambus в низкоскоростные сигналы CMOS-уровня.

Контроллер памяти осуществляет взаимодействие подсистемы памяти Rambus с другими компонентами персонального компьютера, взаимодействующими с памятью (центральным процессором, жестким диском, видеосистемой и др.).

Структурная схема микросхемы RDRAM представлена на рис. 7.

Внутреннее ядро RDRAM имеет 128/144-разрядную шину, работающую на частоте 100 МГц - 1/8 тактовой частоты Rambus-канала. Таким образом, каждые 10 нс в ядро (или из ядра) может быть передано 16 байт данных.

Компания Rambus планирует эволюционное развитие существующей линейки модулей RDRAM. В 2003-2004 годах ожидается выпуск как 32-, так и 64-битных чипов, работающих на эффективных частотах 1,2 и 1,33 Ггц (10,6 Гб/сек).

Параллельно Rambus представила новый сигнальный интерфейс памяти Yellowstone. Для реализации данного интерфейса планируется использовать три разработки: дифференциальный протокол передачи запросов, технологию ODR (Octal Data Rate), позволяющую за один такт передавать 8 бит данных, и технологию упрощающую привязку данных к тактовой частоте. По заявлению компании Rambus, технология Yellowstone позволит достичь тактовых частот 6,4 Ггц и пропускной способности до 100 Гб/сек.

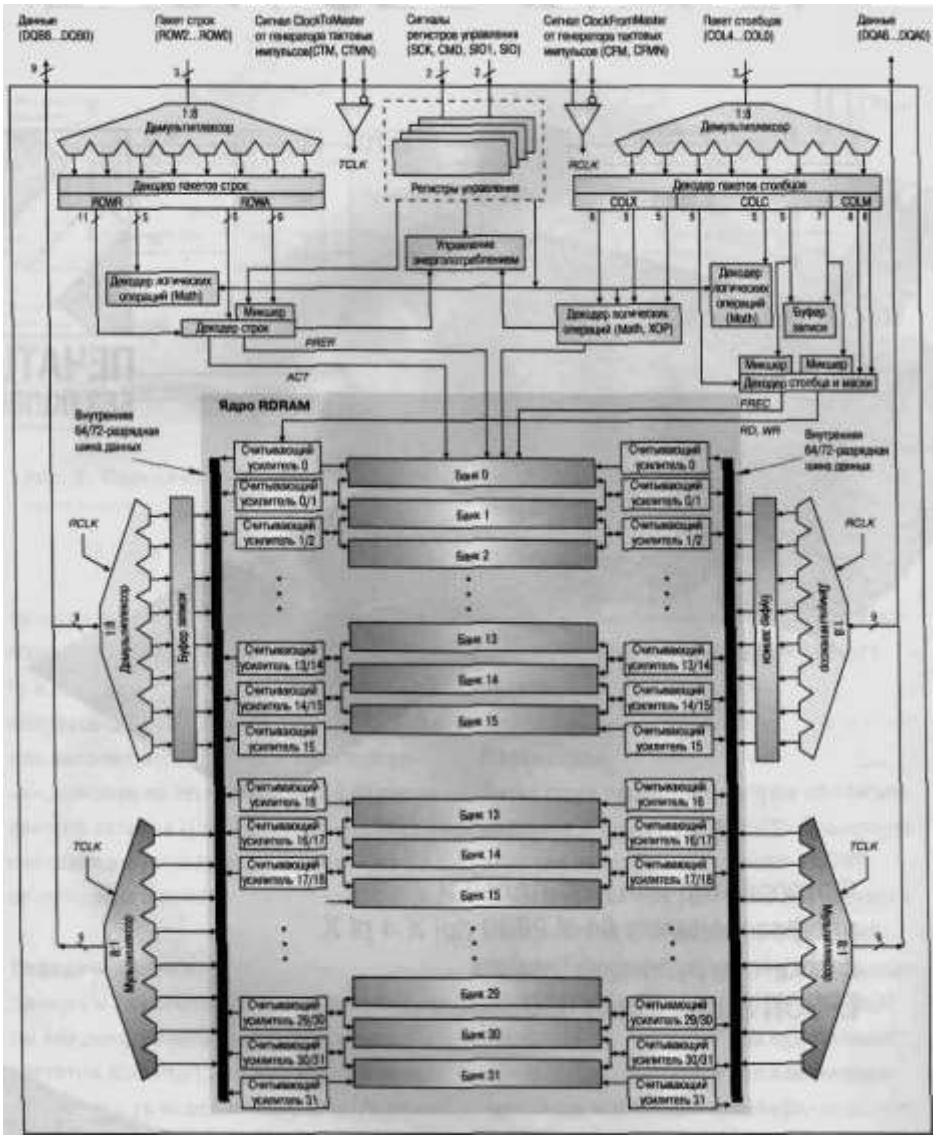


Рис.7 Структурная схема RDRAM

Год	Тип памяти	Частота шины, МГц	Разрядность шины памяти, бит	Максимальная пропускная способность, Мбайт/с	Пропускная способность линии памяти, Мбит/с/контакт
1987	FPM DRAM	25, 33	32	100, 132	24; 32
1995	EDO DRAM	40, 50	32	160, 200	40; 50
1997	PC 66 SDRAM	66	64	528	65,6
1998	PC 100 SDRAM	100	64	800	100
1999/2000	PC 133 SDRAM	133	64	1064	133
1999/2000	Direct RDRAM	400, 600, 800*	16	800, 1200, 1600	400; 600; 800
	(один канал)				
2000	DDR200 SDRAM	200*	64	1600	200
2000	DDR266 SDRAM	266*	64	2100	256
2001	Direct RDRAM	400, 600, 800*	16	1600, 2400, 3200	400; 600; 800
	(два канала)				
2001	Direct RDRAM	1066*	16	2132	1066
2001	DDR300	300*	64	2400	300
2002	DDR333	333*	64	2700	337
2003	DDR II	200, 400*	64	3200, 6400	400; 800

Лекция 2.

Программируемые логические интегральные схемы

ПЛИС - это матричные большие интегральные схемы, позволяющие программно скомпоновать в одном корпусе электронную схему, эквивалентную схеме, включающей от нескольких десятков до нескольких сотен ИС стандартной логики. По сравнению с другими микроэлектронными технологиями, в том числе базовыми матричными кристаллами (БМК), технология ПЛИС обеспечивает рекордно короткий проектно-технологический цикл (от нескольких часов до нескольких дней), минимальные затраты на проектирование, максимальную гибкость при необходимости модификации аппаратуры.

ПЛИС содержат программируемую матрицу элементов логического И, программируемую или фиксируемую матрицу элементов логического ИЛИ и так называемые макро ячейки. Макро ячейки как правило включают в себя триггер, тристабильный буфер и вентиль исключающее ИЛИ, управляющий уровнем активности сигнала. Размерность матриц и конфигурация макро ячеек определяют степень интеграции и логическую мощность ПЛИС. В сочетании с разнообразными обратными связями перечисленные элементы формируют завершённую автоматную структуру, ориентированную на реализацию как комбинационных (дешифраторов, мультиплексоров, сумматоров), так и последовательных схем (управляющих автоматов, контроллеров, счётчиков).

В ПЛИС заложены возможности, которые позволяют превратить её в ИС с любой функцией цифровой логики. Проектирование сводится к выявлению программируемых элементов (перемычек или запоминающих ячеек), после удаления которых в структуре схемы остаются только связи, которые необходимы для выполнения требуемых функций. На практике эта задача весьма не простая, т.к. современные ПЛИС содержат в среднем несколько десятков тысяч перемычек. Поэтому для проектирования применяют САПР ПЛИС. Каждая компания - производитель ПЛИС разрабатывает и выпускает свою САПР, обеспечивающую реализацию всех этапов проектирования для каждого типа программируемой логики. Благодаря различным САПР, а также структурным и технологическим особенностям, ПЛИС представляют технологию рекордно-короткого цикла разработки РЭА.

Если за рубежом ПЛИС уже заняли заметное место в арсенале разработчика РЭА, то в России эта технология только начинает по-настоящему развиваться.

В каких случаях целесообразно применять ПЛИС?

При разработке оригинальной аппаратуры, а также для замены обычных ИС. При этом значительно уменьшаются размеры устройства, снижается потребляемая мощность и повышается надёжность. (Наиболее эффективно использование ПЛИС в изделиях, требующих нестандартных схемотехнических решений. В этих случаях ПЛИС даже средней степени интеграции (24 вывода) заменяет, как правило, до 10-15 обычных ИС.)

При необходимости резко сократить сроки и затраты на проектирование, а также повысить возможность модификации и отладки аппаратуры. Поэтому ПЛИС широко применяется в стендовом оборудовании, на этапах разработки и производства опытной партии новых изделий, а также для эмуляции схем, подлежащих последующей реализации на другой элементной базе.

Отдельная область применения ПЛИС – проектирование на их основе устройств для защиты программного обеспечения и аппаратуры от несанкционированного доступа и копирования. ПЛИС обладают такой технологической особенностью, как «бит секретности», после программирования которого схема становится недоступной для чтения. Обычно применение 1-2 ПЛИС средней степени интеграции оказывается вполне достаточной для надёжной защиты информации.

Наиболее широко ПЛИС используются в микропроцессорной технике. На их основе разрабатываются контроллеры, адресные дешифраторы, логика обрамления микропроцессоров, формирователи управляющих сигналов и др. На ПЛИС часто изготавливают микропрограммные автоматы и другие специализированные устройства (цифровые фильтры, схемы обработки сигналов и изображений, процессоры быстрого преобразования Фурье, аппаратура уплотнения телефонных сигналов и т.д.).

Применение ПЛИС становится актуальным ещё и потому, что у разработчика зачастую нет необходимых стандартных микросхем.

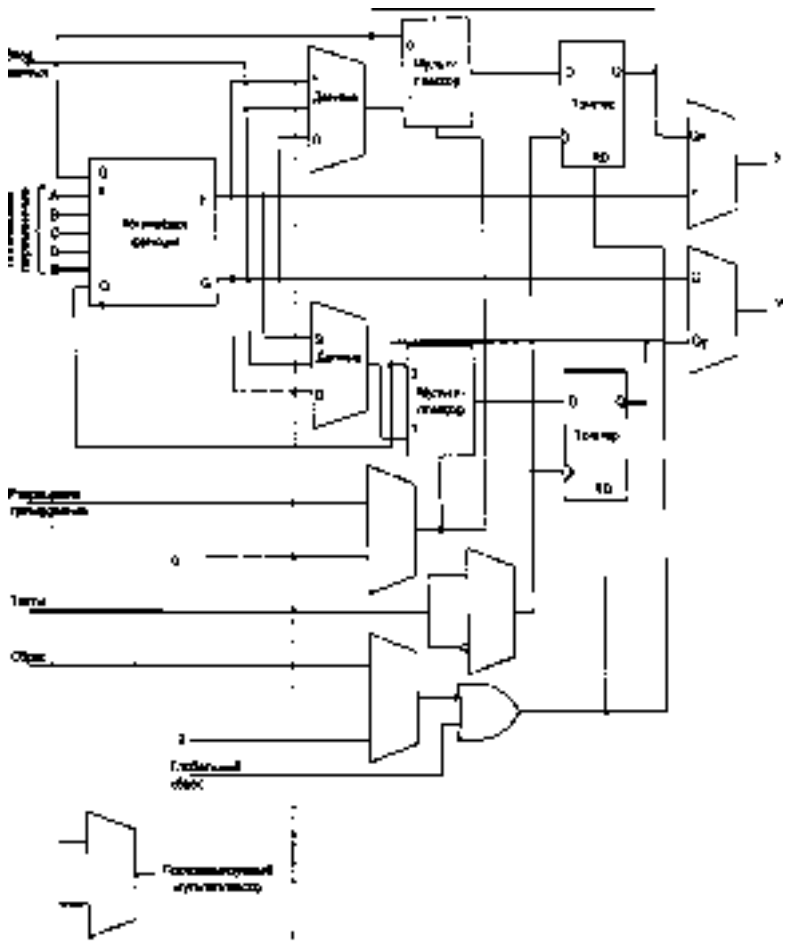


Рис. 8. Логический блок ПЛИС

В настоящее время на мировом рынке можно отметить несколько основных компаний-производителей — ПЛИС-XILINX, ALTERA, LATTICE, AT&T, INTEL, выпускающих микросхемы с архитектурой EPLD (EPROM technology bazed complex Programmable Logic Device) - многократно программируемые, и FPGA (Field Programmable Gate Array) - многократно реконфигурируемые.

В качестве памяти для хранения конфигурации в ПЛИС EPLD используется ППЗУ с ультрафиолетовым стиранием, а у ПЛИС FPGA - статическое ОЗУ.

Микросхема FPGA представляет собой матрицу логических ячеек, соединенных между собой логическими ключами. Содержащаяся в микросхемах FPGA статическая память, будучи заполненной определенной битовой последовательностью, воздействует на логические ячейки и соединяющие их ключи, позволяя получить требуемые электрические схемы (регистры, счетчики, логические схемы и т.д., соединенные друг с другом в требуемом порядке). Каждая микросхема FPGA имеет также вход для записи битовой последовательности, заполняющей статическую память, а также элементы "вход/выход" для связи с другими микросхемами.

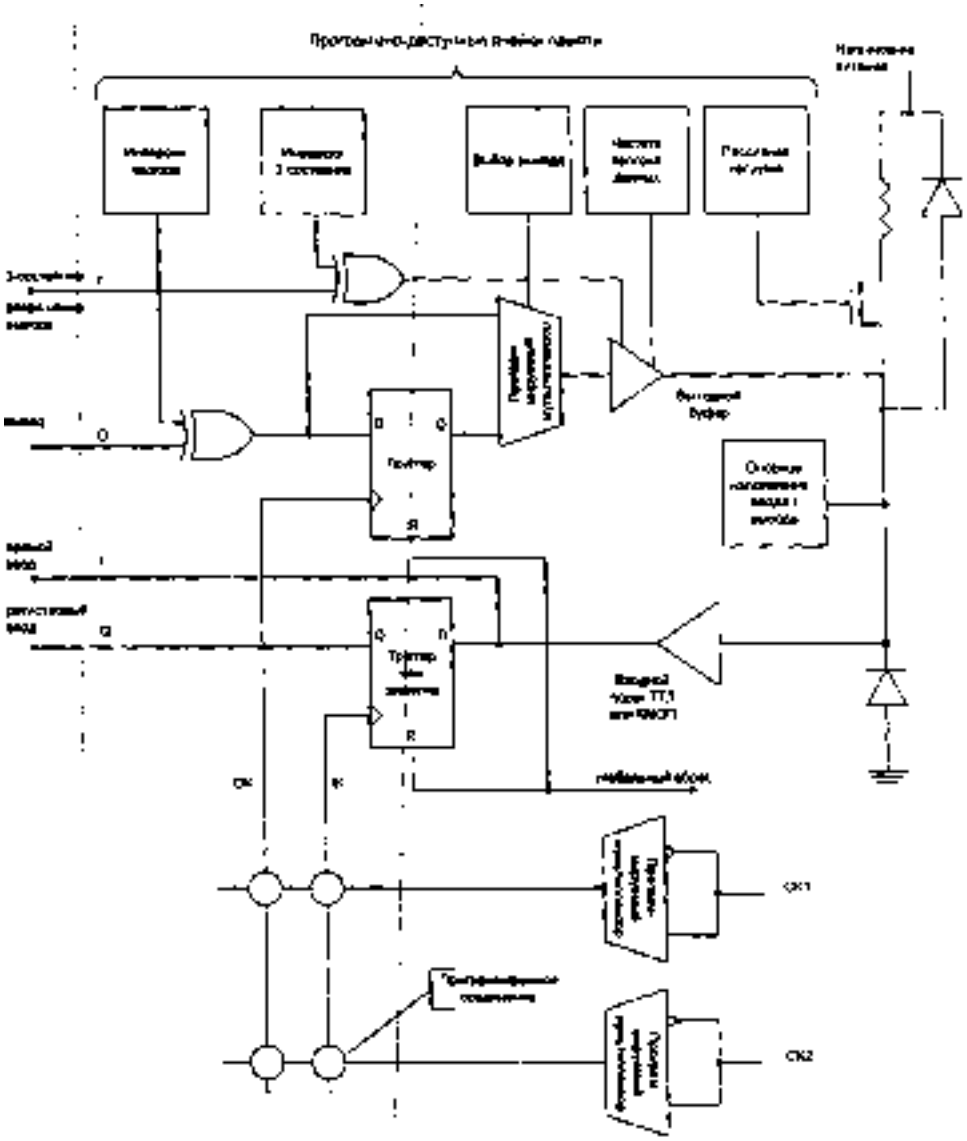


Рис. 9. Блок ввода/вывода ПЛИС

Существует крайняя точка зрения, что со временем ПЛИС вытеснят серийные микропроцессоры, так как пользователь сможет реализовать требуемую ему систему программными средствами, учитывая всю специфику своего приложения.

Таким образом, на основе одной или нескольких микросхем FPGA можно создать реконфигурируемый процессор, обладающий преимуществами спецпроцессора на "жесткой" логике, но способного путем изменения содержимого статической памяти решать любые задачи, подобно универсальному процессору.

Логический блок - один из базовых элементов архитектуры ПЛИС FPGA, может выполнять любую логическую функцию в соответствии с заданной битовой последовательностью (рис.8). Изменять выполняемую функцию можно неограниченное количество раз путем загрузки другой битовой последовательности.

Блок ввода/вывода (рис.9), так же как и логический блок, может быть настроен на выполнение любого электрического соединения реализованной внутри ПЛИС схемы с внешним миром через соответствующий контакт

микросхемы.

Направление развития микроэлектронных компонентов вычислительных систем

Для создания высокоэффективных вычислительных систем важно интегрировать на кристалле как можно больше функций по обработке и хранению данных, а также интерфейс с пользователем и другими вычислительными системами.

Стремление к интеграции совокупности функций обусловлено рядом факторов. Во-первых, при однокристальной реализации пропускная способность интерфейсов между подсистемами обработки и хранения данных не ограничивается количеством выводов корпуса кристалла и может достигать требуемого значения. Во-вторых, упрощается системная плата, на которую монтируется кристалл, уменьшается объем монтажных работ, повышаются показатели надежности и производительности вычислительной системы и уменьшается ее стоимость. В-третьих, снижаются требования к количеству выводов корпуса кристалла, так как минимизируется интерфейс с другими компонентами вычислительной системы, например с устройствами отображения информации. И, наконец, в четвертых, реализуются возможности миллионов транзисторов, которые могут быть размещены на кристалле. Эти транзисторы можно использовать как для построения специализированной системы, состоящей из совокупности проблемно-ориентированных блоков, так и для создания параллельных систем из нескольких процессоров.

Наряду с созданием однокристальных систем существует проблема организации быстрых интерфейсов между микросхемами в многокристальных системах, например между микросхемами процессора и памяти. В Pentium Pro эта проблема решается путем размещения в одном корпусе двух кристаллов: собственно микропроцессора и кэш-памяти второго уровня. Другое возможное решение этой проблемы заключается в создании многокристальных микросборок, в которых бескорпусные СБИС монтируются на кремниевой подложке с нанесенными, возможно несколькими, слоями межкристальных соединений.

Лекция 3.

Архитектура и структура микропроцессоров. Цикл работы микропроцессора: типы адресации и система команд.

Типы команд микропроцессоров.

В ходе эволюционного развития архитектур процессоров в состав системы команд вводились и, в силу преемственности программного обеспечения, закреплялись сложные команды, которые по мнению разработчиков соответствовали решаемым задачам. Мерой этого соответствия чаще всего был объем двоичного кода программы, так как минимизация длины программы

была равнозначна минимизации времени исполнения. Команды бывают разных типов: "регистр, регистр -> регистр", "память, память -> память", "регистр -> память" и др. Сложные команды модифицируют содержимое групп регистров и ячеек памяти, и для их реализации при приемлемых затратах оборудования, как правило, применяется микропрограммирование.

Команды называются скалярными, если входные операнды и результат являются числами (скалярами).

Команды называются векторными, если входные операнды и, возможно, результат являются вектором (массивом) чисел, а для преобразования данных массива (вектора) используется одна векторная команда. Примером векторной команды служит команда, при выполнении которой умножаются два очередных элемента двух массивов, далее произведение суммируется с содержимым некоторого заданного регистра, после чего модифицируются адреса памяти для доступа к двум очередным элементам массивов. Указанная последовательность действий повторяется заданное число раз по счетчику, определенному в теле команды.

Само появление векторных команд обусловлено стремлением ускорить обработку массивов данных за счет исключения затрат времени на выборку и дешифрацию команд обработки, одинаковых для всех компонент входных массивов.

Однако использование векторных команд требует подготовки программистом векторизованного кода программ, что, вообще говоря, эквивалентно разработке параллельных программ.

При сохранении последовательных программ для ускорения обработки применяются суперскалярные процессоры, в которых за счет параллельной работы функциональных устройств процессора в одном такте вырабатывается несколько скалярных результатов.

Структурный параллелизм микропроцессоров

Повышение производительности микропроцессоров достигается за счет увеличения тактовой частоты, совершенствования параллельной и конвейерной обработки данных, а также уменьшения времени доступа к памяти. Современные микропроцессоры содержат десять и более обрабатывающих устройств, каждое из которых представляет собой конвейер. Эффективная загрузка параллельно функционирующих конвейеров обеспечивается либо аппаратурой процессора, либо компилятором, на вход которого поступают программы на традиционном последовательном языке программирования, либо совместно аппаратурой и компилятором.

В компиляторах используется изощренная техника извлечения параллелизма из последовательных программ. Аппаратура микропроцессоров ориентирована на выделение более простых форм параллелизма, в том числе естественного. Стремление использовать присущий большинству программ естественный

параллелизм вычисления целочисленных адресных выражений и собственно обработки данных в формате с плавающей точкой привело к появлению разнесенных архитектур (decoupled architecture).

В первом приближении, микропроцессор с разнесенной архитектурой, как показано на рис.10, состоит из двух связанных подпроцессоров, каждый из которых управляется собственным потоком команд.

Условно эти подпроцессоры называются адресным A-процессором и исполнительным E-процессором. A- и E-процессоры имеют собственные наборы регистров A0,A1,... и X0,X1,..., соответственно и наборы команд. A-процессор выполняет все адресные вычисления и формирует обращения к памяти по чтению и записи. A-процессор является обыкновенным целочисленным процессором, поэтому он способен выполнять произвольные целочисленные преобразования, не связанные с вычислением адресов. E-процессор реализует вычисления с плавающей точкой.

Данные, извлекаемые из памяти, используются либо в A-процессоре, будучи помещенными в FIFO очередь AA, либо помещаются в FIFO очередь, называемую AE очередью, для отсылки в E-процессор. Когда E-процессору требуются данные из памяти, он берет их из очереди AE. Если очередь пуста, то E-процессор задерживается до поступления данных, что решает вопросы синхронизации работы A и E-процессоров. Если E-процессор выработал данное, которое должно быть отправлено в память, то он помещает его в FIFO очередь EA.

При записи данных в память после вычисления адреса A-процессор сразу отправляет адрес в FIFO очередь AW адресов записи в память, не дожидаясь, пока данные поступят в очередь EA. A-процессор группирует пары, выбирая первые элементы очередей EA и AW и отправляя эти пары в память. Естественно, если одна из очередей или обе пусты, то отсылка в память приостанавливается.

При чтении данных A-процессор отправляет адреса в память с указанием очередей AA или AE, в которые должны быть считаны данные из памяти.

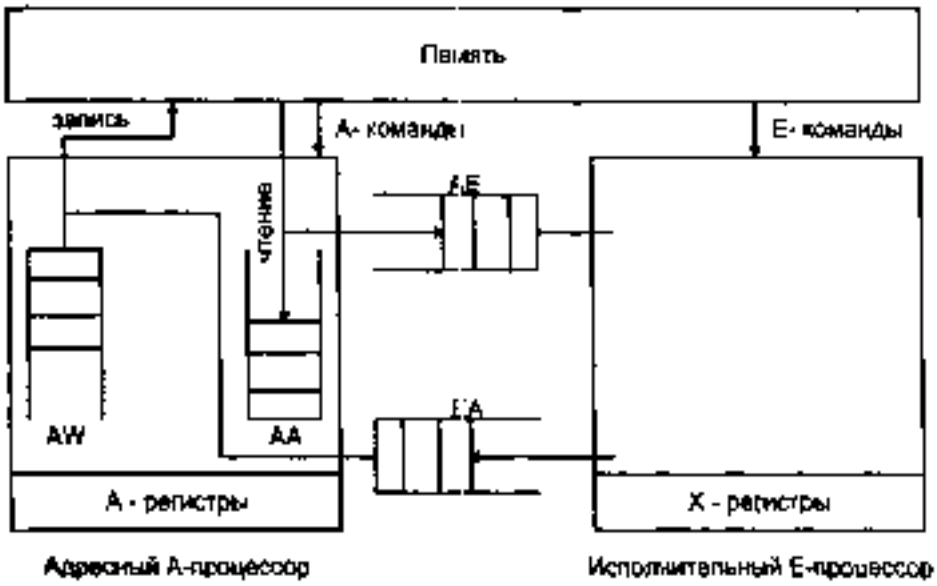


РИС.10. МИКРОПРОЦЕССОР С РАЗНЕСЕННОЙ АРХИТЕКТУРОЙ

Разнесенная архитектура позволяет достигать при скалярной обработке производительности, характерной для векторных процессоров, за счет предвыборки данных из памяти и автоматической развертки нескольких последовательных витков цикла в А-процессоре. Проблемы расщепления программы на программы для А- и Е-процессоров решаются на уровне компилятора или специальным блоком-расщепителем.

Важным системным аспектом разнесенной архитектуры служит интерфейс между процессором и памятью посредством транзакций чтения и записи. Это позволяет расположить между процессором и памятью произвольную коммутационную среду, что подводит логический базис под концепцию построения многопроцессорных систем.

Лекция 4.

Структурные методы уменьшения времени доступа к памяти

Совершенствование архитектуры микропроцессоров и механизмов доступа к памяти не может происходить без принятия совокупности соглашений о структуре программ и обрабатываемых данных. Это обусловлено, например, тем, что время доступа в основную память десять и более раз больше, чем время выполнения преобразований данных в регистрах процессора. Потому необходимо находить решения по уменьшению времени доступа, учитывающие этот факт.

Иерархическая структура памяти. Идеальная память должна обеспечивать процессор командами и данными так, чтобы не вызывать простоев процессора. При этом память должна иметь большую емкость. В современных условиях уменьшение времени доступа достигается введением многоуровневой иерархии памяти. Время доступа зависит от объема и типа используемой памяти.

Типовая современная иерархия памяти имеет следующую структуру:

• регистры 64 - 256 слов с временем доступа 1 такт процессора;

• кэш 1 уровня - 8к слов с временем доступа 1-2 такта;

• кэш 2 уровня - 256к слов с временем доступа 3-5 тактов;

• основная память - до 4 Гигаслов с временем доступа 12-55 тактов.

Используя помимо основной памяти небольшую и более быструю буферную память, можно значительно сократить количество обращений к основной памяти, за счет аккумуляции текущего фрагмента программного кода в буферной памяти. Создание иерархической многоуровневой памяти, пересылающей блоки программ и данных между уровнями памяти за время, пока предшествующие блоки обрабатываются процессором, позволяет существенно сократить простои процессора в ожидании данных. При этом эффект уменьшения времени доступа в память будет тем больше, чем больше время обработки данных в буферной памяти по сравнению с временем пересылки между буферной и основной памятью. Это достигается при локальности обрабатываемых данных, когда процессор многократно использует одни и те же данные для выработки некоторого результата. Например, такая ситуация имеет место при решении систем уравнений в научных и инженерных расчетах, когда короткие участки программного кода с большим количеством вложенных и зацепленных друг с другом циклов обрабатывают поочередно, переходя от точки к точке, небольшие порции данных, многократно используя одни и те же данные и внутренние результаты.

В связи с тем, что локально обрабатываемые данные могут возникать в динамике вычислений и не обязательно сконцентрированы в одной области при статическом размещении в основной памяти, буферную память организуют как ассоциативную, в которой данные содержатся в совокупности с их адресом в основной памяти. Такая буферная память получила название кэш-памяти. Кэш-память позволяет гибко согласовывать структуры данных, требуемые в динамике вычислений, со статическими структурами данных основной памяти.

Кэш имеет совокупность строк (cache-lines), каждая из которых состоит из фиксированного количества адресуемых единиц памяти (байтов, слов) с последовательными адресами. Типичный размер строки: 16, 64, 128, 256 байтов.

Наиболее часто используются три способа организации кэш-памяти, отличающиеся объемом аппаратуры, требуемой для их реализации. Это так называемые кэш-память с прямым отображением (direct-mapped cache), частично ассоциативная кэш-память (set-associative cache) и ассоциативная кэш-память (fully associative cache).

При использовании кэш-памяти с прямым отображением адрес представляется как набор трех компонент, составляющих группы старших, средних и младших разрядов адреса, соответственно тега, номера строки, смещения. Например, при 16-разрядном адресе старшие 5 разрядов могут представлять тег, следующие 7 разрядов - номер строки и последние 4 разряда - смещение в строке. В этом случае строка состоит из 6 адресуемых единиц памяти, всего

строк в кэше 128. Кэш-память с прямым отображением представляет собой набор строк, каждая из которых содержит компоненту тег и элементы памяти строки, адрес которых идентифицируется смещением относительно начала строки.

При этом устанавливается однозначное соответствие между адресом элемента памяти и возможным расположением этого элемента памяти в кэше, а именно: элемент памяти всегда располагается в строке, задаваемой компонентой "номер строки" адреса, и находится на позиции строки, задаваемой компонентой "смещение" адреса,

Наличие элемента данных по запрашиваемому адресу в кэше определяется значением тега. Если тег строки кэш-памяти равен компоненте "тег" адреса, то элемент данных содержится в кэш-памяти.

Иначе необходима подкачка в кэш-память строки, с заданным в адресе тегом.

Так как для определения наличия нужной строки данных в кэш-памяти требуется только одно сравнение тегов заданной строки и адреса, а само замещение строк выполняется по фиксированному местоположению, то объем оборудования, необходимый для реализации этого типа кэш-памяти, достаточно мал.

Недостатки этой организации - очевидны. Если программа использует поочередно элементы памяти из одной строки, но с различными значениями тегов, то это вызывает при каждом обращении замену строки с обращением к данным основной памяти.

Ассоциативная кэш-память использует двухкомпонентное представление адреса: группа старших разрядов трактуется как тег, а группа младших разрядов - как смещение в строке.

Нахождение строки в кэше определяется совпадением тега-строки со значением тега адреса. Количество строк в кэше может быть произвольным (естественное ограничение - количество возможных значений тегов). Поэтому при определении нахождения требуемой строки в кэш-памяти необходимо сравнение тега адреса с тегами всех строк кэша. Если выполнять это последовательно, строка за строкой, то время выполнения сравнений будет непозволительно большим. Поэтому сравнение выполняется параллельно во всех строках с использованием принципов построения ассоциативной памяти, что и дало название этому способу организации кэш-памяти.

При отсутствии необходимой строки в кэш-памяти одна из его строк должна быть заменена на требуемую. Используются разнообразные алгоритмы определения заменяемой строки, например циклический, замена наиболее редко используемой строки, замена строки, к которой дольше всего не было обращений, и другие.

Частично-ассоциативная кэш-память комбинирует оба вышеописанных подхода: кэш-память состоит из набора ассоциативных блоков кэш-памяти. Средняя компонента адреса задает в отличие от прямо адресуемой кэш-памяти

не номер строки, а номер одного из ассоциативных блоков. При поиске данных ассоциативное сравнение тегов выполняется только для набора блоков (возможна организация кэша, когда таких наборов несколько), номер которого совпадает со средней компонентой адреса. По количеству n строк в наборе кэш-память называется n-входовой.

Соответствие между данными в оперативной памяти и кэш-памяти обеспечивается внесением изменений в те области оперативной памяти, для которых данные в кэш-памяти подверглись модификации. Соответствие данных обеспечивается параллельно с основными вычислениями. Существует несколько способов его реализации (и, соответственно, несколько режимов работы кэш-памяти).

Один способ предполагает внесение изменений в оперативную память сразу после изменения данных в кэше. При этом процессор простаивает в ожидании завершения записи в основную память. В основной памяти поддерживается правильная копия данных кэша, и при замене строк не требуется никаких дополнительных действий. Кэш-память, работающая в таком режиме, называется памятью со сквозной записью (write- through).

Другой способ предполагает отображение изменений в основной памяти только в момент вытеснения строки данных из кэша. Если данные по адресу памяти, в который необходимо произвести запись, находятся в кэш-памяти, то идет запись только в кэш-память. При отсутствии данных в кэш-памяти производится запись в основную память. Такой режим работы кэша получил название обратной записи (write-back).

Существуют также промежуточные варианты (buffed write though), при которых запросы на изменение в основной памяти буферизуются и не задерживают процессор на время операции записи в память. Эта запись выполняется по мере возможности доступа контроллера кэш-памяти к основной памяти.

В процессорах, предусматривающих возможность использования в мультипроцессорных конфигурациях, применяется более сложный протокол MESI (Modified, Exclusive, Shared, Invalid) организации кэш-памяти с обратной записью, который предотвращает лишние передачи данных между кэш-памятью и основной памятью.

Для мультипроцессорных систем, в которых память физически распределена между процессорными модулями, идентичность данных в кэшах (когерентность кэшей) различных модулей поддерживается с помощью межмодульных пересылок. Существует несколько основных подходов.

Прямолинейный подход к поддержанию когерентности кэшей в мультипроцессорной системе заключается в том, что при каждом непопадании в кэш в любом процессоре инициируется запрос требуемой строки из того блока памяти, в котором эта строка размешена. В дальнейшем этот блок памяти будет по отношению к этой строке называться резидентным. Запрос передается через коммутатор в модуль с резидентным для строки блоком памяти, из которого

затем необходимая строка через коммутатор присылается в модуль, в котором произошло непопадание. Таким образом, в частности, обеспечивается начальное заполнение кэшей. При этом в каждом модуле для каждой резидентной строки ведется список модулей, в кэшах которых эта строка размещается. Строка, размещенная в кэше более чем одного модуля, в дальнейшем будет называться разделяемой.

Собственно когерентность кэшей обеспечивается следующим. При обращении к кэш-памяти в ходе операции записи данных, после самой записи, процессор приостанавливается до тех пор, пока не выполнится последовательность действий: измененная строка кэша пересылается в резидентную память модуля, затем, если строка была разделяемой, она пересылается из резидентной памяти во все модули, указанные в списке модулей, разделяющих эту строку. После получения подтверждений, что все копии изменены, резидентный модуль пересылает в процессор, приостановленный после записи, разрешение продолжать вычисления.

Изложенный алгоритм обеспечения когерентности хотя и является логически работоспособным, однако практически редко применяется из-за больших простоев процессоров при операциях записи в кэш строки. На практике применяют более сложные алгоритмы, обеспечивающие меньшие простои процессоров.

Для изложения одного из алгоритмов поддержки когерентности кэшей, известного как DASH, зададим некоторые начальные условия и введем определения.

Каждый модуль имеет для каждой строки, резидентной в модуле, список модулей, в кэшах которых размещены копии строк.

С каждой строкой в резидентном для нее модуле свяжем три ее возможных глобальных состояния:

1) "некэшированная", если копия строки не находится в кэше какого-либо другого модуля, кроме, возможно, резидентного для этой строки;

2) "удаленно-разделенная", если копии строки размещены в кэшах других модулей;

3) "удаленно-измененная", если строка изменена операцией записи в каком-либо модуле.

Кроме этого, каждая строка кэша может находиться в одном из трех локальных состояний:

1) "невозможная к использованию";

2) "разделяемая", если есть неизмененная копия, которая, возможно, размещается также в других кэшах;

3) "измененная", если копия изменена операцией записи,

Перейдем к изложению алгоритма. Каждый процессор может читать из своего кэша, если состояние читаемой строки "разделяемая" или "измененная".

Если строка отсутствует в кэше или находится в состоянии "невозможная к использованию", то посылается запрос "промах чтения", который направляется в модуль, резидентный для требуемой строки.

Бели глобальное состояние строки в резидентном модуле - "некэшированная" или "удаленно-разделенная", то копия строки посылается в запросивший модуль, а в список модулей, содержащих копии рассматриваемой строки, вносится модуль, запросивший копию.

Если состояние строки "удаленно-измененная", то запрос "промах чтения" перенаправляется в модуль, содержащий измененную строку. Этот модуль пересылает требуемую строку в запросивший модуль и в модуль, резидентный для этой строки, и устанавливает в резидентном модуле для этой строки состояние удаленно-распределенная .

Если процессор выполняет операцию записи и состояние строки, в которую производится запись, - "измененная", то запись выполняется и вычисления продолжаются. Если состояние строки - "невозможная к использованию" или "разделяемая", то модуль посылает в резидентный для строки модуль запрос на захват в исключительное использование этой строки и приостанавливает выполнение записи до получения подтверждений, что все остальные модули, разделяющие с ним рассматриваемую строку, перевели ее копии в состояние "невозможная к использованию".

Если глобальное состояние строки в резидентном модуле - "некэшированная", то строка отсылается запросившему модулю, и этот модуль продолжает приостановленные вычисления .

Если глобальное состояние строки - "удаленно-разделенная", то резидентный модуль рассылает по списку всем модулям, имеющим копию строки, запрос на переход этих строк в состояние "невозможная к использованию". По получении этого запроса каждый из модулей изменяет состояние своей копии строки на "невозможная к использованию" и посылает подтверждение исполнения в модуль, инициировавший операцию записи. При этом в приостановленном модуле строка после исполнения записи переходит в состояние "удаленно-измененная".

Предпринимаются попытки повысить эффективность реализации алгоритма когерентности, в частности, за счет учета специфики параллельных программ, в которых используются асинхронно одни и те же данные на каждом временном интервале исключительно одним процессором с последующим переходом обработки к другому процессору. Такого рода ситуации случаются, например, при определении условий окончания итераций, В этом случае возможна более эффективная схема передачи строки из кэша одного процессора в кэш другого процессора.

В системах, использующих коммутатор с временным разделением (шину), интерфейс с шиной каждого модуля "прослушивает" все передачи по шине, поэтому нет необходимости вести списки модулей, разделяющих строки.

Кэш-память с обратной записью создает меньшую нагрузку на шину

процессора и обеспечивает большую производительность, однако контроллер для write-back кэша значительно сложнее.

Контроллер кэша отслеживает адреса памяти, выдаваемые процессором, и если адрес соответствует данным, содержащимся в одной из строк кэша, то отмечается "попадание в кэш", и данные из кэша направляются в процессор. Если данных в кэше не оказывается, то фиксируется "промах", и инициируются действия по доставке в кэш из памяти требуемой строки. В ряде процессоров, выполняющих одновременно совокупность команд, допускается несколько промахов, прежде чем будет запущен механизм замены строк.

Рассуждения о том, какой способ организации кэш-памяти более предпочтителен, должны учитывать особенности генерации программ компилятором, а также использование программистом при подготовке программы сведений о работе компилятора и контроллера кэш-памяти. То есть более простой способ организации кэш-памяти, поддерживаемый компилятором, при исполнении программ, написанных в соответствии с некоторыми правилами, обусловленными особенностями компиляции и организации кэш-памяти, может дать лучший результат, чем сложный способ организации кэш-памяти.

Так как области памяти программ и данных различны и к ним происходит одновременный доступ, то для повышения параллелизма при работе с памятью делают отдельные кэши команд и данных.

Расслоение памяти. Другим структурным способом уменьшения времени доступа к памяти служит расслоение памяти. В предположении, что выборка из памяти выполняется по последовательным адресам возможно использование k блоков памяти с размещением в блоке i, где i=0,…, k-1, слов с адресами n=i+krrp mod k, где p=0,1,..., M. В этом случае возможно k параллельных обращений в память по адресам, принадлежащим различным блокам. Поэтому выборка команд программы за исключением команд, выбираемых как результат ветвления, может быть ускорена применением расслоения памяти. Аналогично может быть ускорена обработка массивов данных, последовательные элементы которых помещаются в разные блоки памяти.

Многоуровневая иерархия и расслоение памяти могут использоваться совместно.

CISC- и RISC- процессоры.

АППАРАТНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОЦЕССОРОВ ОПРЕДЕЛЯЮТСЯ УРОВНЕМ РАЗВИТИЯ МИКРОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ, КОТОРАЯ ОГРАНИЧИВАЕТ ЧИСЛО ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, РАЗМЕЩАЕМЫХ НА КРИСТАЛЛЕ. ФАКТИЧЕСКИ ЕГО РАЗМЕРЫ И ЧИСЛО РАЗМЕЩАЕМЫХ НА НЕМ ТРАНЗИСТОРОВ ПОЧТИ ЦЕЛИКОМ ОПРЕДЕЛЯЮТ ТОТ НАБОР АППАРАТНЫХ УСТРОЙСТВ, КОТОРЫЕ ВКЛЮЧАЮТСЯ В СОЗДАВАЕМЫЙ ПРОЦЕССОР. РАЗРАБОТЧИКИ СТРЕМЯТСЯ ВВЕСТИ В ЕГО СОСТАВ КАК МОЖНО БОЛЬШЕЕ ЧИСЛО РАЗЛИЧНЫХ АРИФМЕТИЧЕСКИХ И ЛОГИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ, СОПРОЦЕССОРОВ И Т.Д., ПОСКОЛЬКУ ОЧЕВИДНО, ЧТО АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КАКОЙ-ЛИБО ФУНКЦИИ ОБЕСПЕЧИВАЕТ БОЛЕЕ БЫСТРОЕ ЕЕ ВЫПОЛНЕНИЕ, ЧЕМ ПРОГРАММНАЯ. ДА И ДЛИНА КОДА ДЛЯ РЕАЛИЗУЕМЫХ АППАРАТНЫМ ПУТЕМ ФУНКЦИЙ СУЩЕСТВЕННО МЕНЬШЕ, ПОЭТОМУ В 80-Х ГОДАХ ПРОЦЕССОРЫ "РОСЛИ ВШИРЬ", ОСНАЩАЛИСЬ НОВЫМИ УЗЛАМИ, СОВЕРШЕНСТВУЯ УЖЕ ИМЕЮЩИЕСЯ. КРОМЕ ТОГО, РАЗРАБОТЧИКАМ

ПРОЦЕССОРОВ ПРИХОДИЛОСЬ ПОСТОЯННО ПОДСТРАИВАТЬСЯ ПОД СТРЕМЛЕНИЕ ПРОГРАММИСТОВ ИМЕТЬ ВОЗМОЖНО БОЛЕЕ МОЩНУЮ И ГИБКУЮ СИСТЕМУ КОМАНД. ТАКИЕ СИСТЕМЫ КОМАНД С РАЗНООБРАЗНЫМИ СПОСОБАМИ АДРЕСАЦИИ И НАБОРАМИ УСЛОВНЫХ ПЕРЕХОДОВ И ВЫЗОВОВ ПОДПРОГРАММ, СТРОКОВЫМИ ОПЕРАЦИЯМИ И ПРЕФИКСАЦИЯМИ ОБЕСПЕЧИВАЛИ СОЗДАНИЕ КОРОТКИХ ПРОГРАММ, ГАРАНТИРОВАЛИ МЕНЬШЕЕ ЧИСЛО ОШИБОК В НИХ. И РАЗРАБОТЧИКИ НЕ МОГЛИ НЕ СЧИТАТЬСЯ С ЭТИМ.

! ПОД АРХИТЕКТУРОЙ В ДАННОМ СЛУЧАЕ СЛЕДУЕТ ПОНИМАТЬ ТОЛЬКО СИСТЕМУ КОМАНД, ИГРАЮЩУЮ РОЛЬ ИНТЕРФЕЙСА МЕЖДУ АППАРАТНЫМ И ПРОГРАММНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ.

ПЕРВЫЕ РОСТКИ ПРОТИВОРЕЧИЙ, ПРИВЕДШИХ К ТОМУ, ЧТО ПУТИ ЗАНИМАЮЩИХСЯ РАЗРАБОТКОЙ И ПРОИЗВОДСТВОМ МП КОМПАНИЙ РАЗОШЛИСЬ В РАЗНЫЕ СТОРОНЫ, ОБНАРУЖИЛИСЬ ДАВНО. ЗА ПЕРВЫЕ 10 ЛЕТ СУЩЕСТВОВАНИЯ МП СФОРМИРОВАЛАСЬ АРХИТЕКТУРА CISC (COMPLEX INSTRUCTION SET COMPUTING — ВЫЧИСЛЕНИЯ СО СЛОЖНЫМ НАБОРОМ ИНСТРУКЦИЙ). В ПОСТРОЕННЫХ ПО ЕЁ ПРИНЦИПАМ ПРОЦЕССОРАХ БОЛЕЕ 2/3 КРИСТАЛЛА ЗАНИМАЮТ ЛОГИКА, РЕАЛИЗУЮЩАЯ ВЫБОРКУ И ДЕКОДИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ ИНСТРУКЦИЙ, ПРЯМОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕ ТОЛЬКО С РЕГИСТРОВОЙ ПАМЯТЬЮ, НО И С ВНЕШНЕЙ, А ТАКЖЕ ИЗОЩРЁННЫЕ СХЕМЫ АДРЕСАЦИИ. ПРИ ЭТОМ БЛОКИ, НЕПОСРЕДСТВЕННО ЗАНЯТЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯМИ ЗАНИМАЮТ ЛИШЬ 1/3 ПЛОЩАДИ КРИСТАЛЛА. НА ПРОТЯЖЕНИИ НЕСКОЛЬКИХ ДЕСЯТИЛЕТИЙ СИСТЕМЫ КОМАНД ЭВОЛЮЦИОНИРОВАЛИ, НАХОДЯСЬ В СЛОЖНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТОИМОСТИ АППАРАТНЫХ РЕСУРСОВ, И ПРЕЖДЕ ВСЕГО САМОГО ДОРОГОГО ИЗ НИХ – ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ. ИНЖЕНЕРАМИ РУКОВОДИЛО СТРЕМЛЕНИЕ СОКРАТИТЬ РАЗМЕР ПРОГРАММ, ДЛЯ ЭТОГО ОНИ СТАРАЛИСЬ ВЛОЖИТЬ КАК МОЖНО БОЛЬШЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ В ОДНУ КОМАНДУ. К НАЧАЛУ 80-Х ЧИСЛО ТАКИХ КОМАНД ДОСТИГЛО ПОЧТИ 300 СОТЕН, И ПОЧТИ КАЖДАЯ ИЗ НИХ ИМЕЛА ДО 6 ТИПОВ АДРЕСАЦИИ. К ТОМУ ЖЕ КОМАНДЫ НЕ ИМЕЛИ ФИКСИРОВАННОЙ ДЛИНЫ.

ОДНАКО, НАЧИНАЯ С НЕКОТОРОГО МОМЕНТА CISC-ИДЕОЛОГИЯ СТАЛА НЕ УСКОРИТЕЛЕМ, А ТОРМОЗОМ РОСТА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ. ДЕЛО В ТОМ, ЧТО БОЛЬШОЕ РАЗНООБРАЗИЕ КОМАНД И РАЗЛИЧНАЯ ИХ ДЛИНА СУЩЕСТВЕННО УСЛОЖНЯЮТ АППАРАТУРУ УПРАВЛЕНИЯ ВНУТРИ ПРОЦЕССОРА. ТАК, НАПРИМЕР, ОНА ДОЛЖНА ОПРЕДЕЛИТЬ ДЛИНУ КОМАНДЫ (МОЖЕТ ВАРЬИРОВАТЬСЯ В ПРЕДЕЛАХ ОТ ОДНОГО ДО ПЯТИ-ШЕСТИ БАЙТ), ВЫДЕЛИТЬ КОД ОПЕРАЦИИ, ПОДГОТОВИТЬ ОПЕРАНДЫ, КОТОРЫЕ МОГУТ НАХОДИТЬСЯ КАК В РЕГИСТРАХ, ТАК И В ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ. РЕЗУЛЬТАТ ВЫЧИСЛЕНИЙ ТАКЖЕ НУЖНО ПЕРЕНЕСТИ ИЛИ В ПАМЯТЬ, ИЛИ В КАКОЙ-ЛИБО ИЗ РЕГИСТРОВ.

ОСОЗНАВ УКАЗАННЫЕ ФАКТЫ, МНОГИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ УЖЕ В 80-Е ГОДЫ НАЧАЛИ ПОИСКИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССОРОВ. БЫЛО ЯСНО, ЧТО НУЖНО ПОПЫТАТЬСЯ УМЕНЬШИТЬ «НАКЛАДНЫЕ РАСХОДЫ», ОТЪЕДАЮЩИЕ ДО ДВУХ ТРЕТЕЙ ПОЛЕЗНОЙ ПЛОЩАДИ КРИСТАЛЛА, СНИЗИВ ЧИСЛО ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В НИХ ДО МИНИМУМА. ДЛЯ ЭТОГО БЫЛО НЕОБХОДИМО ПЕРЕНЕСТИ "ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ" НА ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА, ОСТАВИВ МИНИМАЛЬНО ВОЗМОЖНОЕ ЧИСЛО КОМАНД, ИМЕЮЩИХ ПРОСТУЮ И РЕГУЛЯРНУЮ СТРУКТУРУ. ДРУГИМИ СЛОВАМИ, НАЧАЛА ФОРМИРОВАТЬСЯ СТРАТЕГИЯ "ДЛИННАЯ ПРОГРАММА — КОРОТКИЕ КОМАНДЫ" В ПРОТИВОВЕС ГОСПОДСТВУЮЩЕЙ «КОРОТКАЯ ПРОГРАММА — ДЛИННЫЕ КОМАНДЫ». ОСТАВАЛОСЬ ТОЛЬКО НАЙТИ РАЗУМНЫЙ КОМПРОМИСС МЕЖДУ РЕСУРСАМИ, ОТВОДИМЫМИ ОСНОВНЫМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМ УЗЛАМ ПРОЦЕССОРА И УСТРОЙСТВАМ УПРАВЛЕНИЯ.

И ВСКОРЕ ЭТОТ КОМПРОМИСС БЫЛ НАЙДЕН. ВНАЧАЛЕ ДЖОН КУК ИЗ IBM RESEARCH LABS НА СВОЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ КОМПЬЮТЕРЕ "MODEL 801" ПОКАЗАЛ, ЧТО ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ПРОГРАММЕ ЛИШЬ ПРОСТЕЙШИХ КОМАНД ФОРМАТА «РЕГИСТР—

РЕГИСТР» (ОПЕРАНДЫ ИЗВЛЕКАЮТСЯ ИСКЛЮЧИТЕЛЬНО ИЗ РЕГИСТРОВ И ПОСЛЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИИ ПОМЕЩАЮТСЯ ТОЛЬКО В РЕГИСТРЫ) СКОРОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ БОЛЬШИНСТВА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ ВОЗРАСТАЕТ В ДВА-ТРИ РАЗА. ЗАТЕМ УЧЕНЫМИ СТЕНФОРДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА БЫЛО ПОКАЗАНО, ЧТО ИСКЛЮЧЕНИЕ ИЗ НАБОРА КОМАНД СЛОЖНЫХ ОПЕРАЦИЙ УМЕНЬШАЕТ ЧИСЛО ЭЛЕМЕНТОВ ПРОЦЕССОРА НА ПОРЯДОК ЗА СЧЕТ УПРОЩЕНИЯ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПРОЦЕССОРА (ПРИ ЭТОМ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СИСТЕМЫ ОСТАЕТСЯ ПРАКТИЧЕСКИ НЕИЗМЕННОЙ).

ОПЫТ МНОГОЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ СТАТИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОГРАММ ВЫЯВИЛ, ЧТО 80 % ПРОЦЕССОРНОГО ВРЕМЕНИ ОБЫЧНО ТРАТИТСЯ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ВСЕГО 20 % ОТ ОБЩЕГО ЧИСЛА ИНСТРУКЦИЙ ОБЫЧНЫХ CISC-ПРОЦЕССОРОВ. ПРИЧЕМ ВСЕ ЭТИ 20 % ПРИХОДЯТСЯ НА КОМАНДЫ ТИПА "РЕГИСТР—РЕГИСТР".

И НАКОНЕЦ, В РАБОТАХ Д. ПАТТЕРСОНА И К. СЕКУИНА БЫЛИ СФОРМУЛИРОВАНЫ ЧЕТЫРЕ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПА, КОТОРЫЕ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ПОЛОЖЕНЫ В ОСНОВУ ПРОЦЕССОРОВ ГРУППЫ RISC (REDUCED INSTRUCTION SET COMPUTING – ВЫЧИСЛЕНИЯ С СОКРАЩЕННЫМ НАБОРОМ КОМАНД):

А) ЛЮБАЯ ОПЕРАЦИЯ, К КАКОМУ БЫ ТИПУ ОНА НИ ПРИНАДЛЕЖАЛА, ДОЛЖНА ВЫПОЛНЯТЬСЯ ЗА ОДИН ТАКТ;

Б) ОПЕРАЦИИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ РЕАЛИЗУЮТСЯ ТОЛЬКО В ФОРМАТЕ “РЕГИСТР—РЕГИСТР”. ОБМЕН МЕЖДУ ПАМЯТЬЮ И РЕГИСТРАМИ (Т. Е. МОДИФИКАЦИЯ ПАМЯТИ И ЧТЕНИЕ ИЗ НЕЕ НЕОБХОДИМЫХ ДАННЫХ) ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ТОЛЬКО ЛИШЬ С ПОМОЩЬЮ СПЕЦИАЛЬНЫХ КОМАНД ЧТЕНИЯ/ЗАПИСИ;

В) СИСТЕМА КОМАНД ДОЛЖНА СОДЕРЖАТЬ МИНИМАЛЬНОЕ ЧИСЛО НАИБОЛЕЕ ЧАСТО ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРОСТЕЙШИХ КОМАНД ОДИНАКОВОЙ ДЛИНЫ:

Г) СОСТАВ СИСТЕМЫ КОМАНД ДОЛЖЕН БЫТЬ ОПТИМИЗИРОВАН С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ КОМПИЛЯТОРОВ ЯЗЫКОВ ВЫСОКОГО УРОВНЯ.

КСТАТИ, НАД ИДЕЯМИ, ВОШЕДШИМИ В КОНЦЕПЦИЮ RISC, ТРУДИЛИСЬ НЕ ТОЛЬКО НА ЗАПАДЕ. ЕЩЁ В 70-Х ГОДАХ, КОГДА АМЕРИКАНСКИЕ УЧЁНЫЕ ТОЛЬКО ПРИБЛИЗИЛИСЬ К ФОРМУЛИРОВКЕ ТОГО, ЧТО СТАЛО НАЗЫВАТЬСЯ RISC, В СОВЕТСКОМ СОЮЗЕ УЖЕ БЫЛИ ПОСТРОЕНЫ БОЛЬШИЕ ЭВМ, В КОТОРЫХ БЫЛИ РЕАЛИЗОВАНЫ РЕШЕНИЯ, ПОЗВОЛИВШИЕ ИСПОЛЬЗОВАТЬ RISC-АРХИТЕКТУРУ В ОБЛАСТИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ. НАПРИМЕР, СУПЕРСКАЛЯРНАЯ АРХИТЕКТУРА БЫЛА РЕАЛИЗОВАНА У НАС 1978 ГОДУ, В ТО ВРЕМЯ КАК АМЕРИКАНЦЫ ПОДОШЛИ К НЕЙ ЛИШЬ В НАЧАЛЕ 90-Х ГОДОВ. А ВЕДЬ ИМЕННО СУПЕРСКАЛЯРНОСТЬ НАЗЫВАЮТ СЕГОДНЯ 5-ЫМ КРИТЕРИЕМ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ПРОЦЕССОРА К RISC-АРХИТЕКТУРЕ.

НАИБОЛЕЕ СЛОЖНО ВЫПОЛНИМОЕ ИЗ УПОМЯНУТЫХ ТРЕБОВАНИЙ — ПЕРВОЕ, В СООТВЕТСТВИИ С КОТОРЫМ, КАЖДАЯ КОМАНДА ДОЛЖНА ВЫПОЛНЯТЬСЯ НЕ БОЛЕЕ ЧЕМ ЗА ОДИН ТАКТ. ОДНАКО, НЕСМОТРЯ НА СУЩЕСТВЕННОЕ УПРОЩЕНИЕ, НЕОБХОДИМО, ЧТОБЫ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ПО-ПРЕЖНЕМУ ВЫПОЛНЯЛО ОПЕРАЦИИ ПО ЧТЕНИЮ КОДА КОМАНДЫ, ДЕКОДИРОВАНИЮ, ПОДГОТОВКЕ ОПЕРАНДОВ, СОБСТВЕННО ВЫПОЛНЕНИЮ КОМАНДЫ И ПЕРЕМЕЩЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТА В СООТВЕТСТВУЮЩИЙ РЕГИСТР. ЕСЛИ УЧЕСТЬ, ЧТО КАЖДАЯ ИЗ ЭТИХ ОПЕРАЦИЙ ОБЯЗАНА СИНХРОНИЗИРОВАТЬСЯ С ФРОНТОМ (ИЛИ СПАДОМ) СИГНАЛА ТАКТОВОГО ГЕНЕРАТОРА, ТО ЕДИНСТВЕННО ВОЗМОЖНЫЙ ВАРИАНТ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ - ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТАК НАЗЫВАЕМОГО КОНВЕЙЕРА КОМАНД. ПРИ ЭТОМ ПО ПЕРВОМУ ПЕРЕПАДУ СИГНАЛА ТАКТОВОГО ГЕНЕРАТОРА В СООТВЕТСТВУЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ ВЫДЕЛЯЕТСЯ КОД ОПЕРАЦИИ, КОТОРЫЙ ЗАТЕМ ПЕРЕДАЕТСЯ В УСТРОЙСТВО ДЕКОДИРОВАНИЯ; ПО ВТОРОМУ - В УСТРОЙСТВЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВЫДЕЛЯЕТСЯ КОД ОПЕРАЦИИ СЛЕДУЮЩЕЙ КОМАНДЫ, А В УСТРОЙСТВЕ ДЕКОДИРОВАНИЯ ПРОИСХОДИТ

ДЕКОДИРОВАНИЕ ПЕРВОЙ КОМАНДЫ И ПЕРЕДАЧА ЕЕ В СООТВЕТСТВУЮЩЕЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО - АЛУ, СОПРОЦЕССОР И Т. Д. ТРЕТИЙ ПЕРЕПАД СОПРОВОЖДАЕТСЯ ИЗВЛЕЧЕНИЕМ КОДА ОПЕРАЦИИ ТРЕТЬЕЙ КОМАНДЫ, ДЕКОДИРОВАНИЕМ ВТОРОЙ И ПОДГОТОВКОЙ ДАННЫХ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПЕРВОЙ.

ТАКИМ ОБРАЗОМ, ПО КАЖДОМУ ИЗ ТАКТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ НА КОНВЕЙЕР ВСТУПАЕТ НОВАЯ КОМАНДА, И НЕСКОЛЬКО УЖЕ ОБРАБАТЫВАЮТСЯ НА РАЗНЫХ ЕГО СТУПЕНЯХ. ОДНОВРЕМЕННО, ТАКЖЕ ПО КАЖДОМУ ИЗ ТАКТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ, ЕГО ПОКИДАЕТ ОДНА ВЫПОЛНЕННАЯ КОМАНДА. И ХОТЯ НА ВЫПОЛНЕНИЕ КАЖДОЙ ЗАТРАЧИВАЕТСЯ ПО-ПРЕЖНЕМУ ОТ ЧЕТЫРЕХ ДО СЕМИ-ВОСЬМИ ТАКТОВ (В РАССМОТРЕННОМ ВЫШЕ УСЛОВНОМ КОНВЕЙЕРЕ - ПЯТЬ), КАЖДЫЙ ИЗ НИХ СОПРОВОЖДАЕТСЯ, КАК ЭТО И ТРЕБОВАЛОСЬ, ВЫПОЛНЕНИЕМ ОДНОЙ КОМАНДЫ. СЛЕДОВАТЕЛЬНО, ЕСЛИ ДЛЯ RISC - ПРОЦЕССОРОВ КОНВЕЙЕР КОМАНД ЯВЛЯЕТСЯ НЕОБЯЗАТЕЛЬНЫМ (ХОТЯ И ЖЕЛАТЕЛЬНЫМ) ЭЛЕМЕНТОМ, ТО ДЛЯ RISC-ПРОЦЕССОРОВ ОН ОБЯЗАТЕЛЕН. ОТМЕТИМ, ЧТО БОЛЬШИНСТВО RISC-ПРОЦЕССОРОВ ИМЕЮТ НЕ ОДИН, А НЕСКОЛЬКО (ОТ ДВУХ ДО ЧЕТЫРЕХ) КОНВЕЙЕРОВ, ЗА ЧТО ОНИ ПОЛУЧИЛИ НАЗВАНИЕ СУПЕРСКАЛЯРНЫХ (В ОТЛИЧИЕ ОТ СКАЛЯРНЫХ - ОДНОКОНВЕЙЕРНЫХ).

СЛЕДУЮЩАЯ ОСОБЕННОСТЬ RISC-ПРОЦЕССОРОВ - ВЫСОКАЯ СТЕПЕНЬ ДРОБЛЕНИЯ КОНВЕЙЕРА. В РАССМОТРЕННОМ ВЫШЕ ПРИМЕРЕ ОН СОСТОИТ ИЗ ПЯТИ СТУПЕНЕЙ: ИЗВЛЕЧЕНИЯ КОДА ОПЕРАЦИИ, ДЕКОДИРОВАНИЯ, ПОДГОТОВКИ ОПЕРАНДОВ, ИСПОЛНЕНИЯ, СОХРАНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТА. РЕАЛЬНО RISC-ПРОЦЕССОРЫ ХАРАКТЕРИЗУЮТСЯ СЕМИДЕСЯТИ СТУПЕНЧАТЫМИ КОНВЕЙЕРАМИ. С УВЕЛИЧЕНИЕМ ЧИСЛА СТУПЕНЕЙ ДЕЙСТВИЯ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ НА КАЖДОЙ ИЗ НИХ, ВСЕ БОЛЕЕ И БОЛЕЕ УПРОЩАЮТСЯ. ПОСЛЕДНЕЕ ОЗНАЧАЕТ, ЧТО УМЕНЬШАЕТСЯ ЧИСЛО НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ЭТОГО ЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПОЯВЛЯЕТСЯ ВОЗМОЖНОСТЬ ПОВЫСИТЬ ТАКТОВУЮ ЧАСТОТУ ПРОЦЕССОРА.

ТРЕТЬЯ ОСОБЕННОСТЬ, ВЫТЕКАЮЩАЯ ИЗ ПРЕДЫДУЩЕЙ, - РАЗВИТЫЕ СРЕДСТВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЕТВЛЕНИЙ И ПЕРЕХОДОВ. В ПРОГРАММАХ ДЛЯ СЕМЕЙСТВА X86 КОМАНДА ПЕРЕХОДА ВСТРЕЧАЕТСЯ В СРЕДНЕМ ЧЕРЕЗ КАЖДЫЕ ШЕСТЬ, В ПРОГРАММАХ ДЛЯ RISC-ПРОЦЕССОРОВ, КОМАНДЫ КОТОРЫХ ПРОЩЕ, - ЧЕРЕЗ КАЖДЫЕ 10... 12 КОМАНД. ВСТРЕТИВ КОМАНДУ УСЛОВНОГО ПЕРЕХОДА, ПРОЦЕССОР ДОЛЖЕН СДЕЛАТЬ ПРЕДПОЛОЖЕНИЕ О ТОМ, ВЫПОЛНИТСЯ УСЛОВИЕ ИЛИ НЕТ, И В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭТОГО НАЧАТЬ ПРЕДВЫБОРКУ КОМАНД ЛИБО С АДРЕСА ПРЕДПОЛАГАЕМОГО ПЕРЕХОДА, ЛИБО С АДРЕСА, СЛЕДУЮЩЕГО ЗА ТЕКУЩИМ. ЕСЛИ ПЕРЕХОД ПРЕДСКАЗАН НЕПРАВИЛЬНО, ПРОЦЕССОРУ НЕОБХОДИМО УДАЛИТЬ СО ВСЕХ СТУПЕНЕЙ КОНВЕЙЕРА КОМАНДЫ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К НЕВЕРНО СДЕЛАННОМУ ПРЕДПОЛОЖЕНИЮ, И ПЕРЕЗАГРУЗИТЬ КОНВЕЙЕР. ЭТО ОСОБЕННО СКАЗЫВАЕТСЯ НА РАБОТЕ СУПЕРСКАЛЯРНЫХ ПРОЦЕССОРОВ - НА РАЗНЫХ СТУПЕНЯХ ТРЕХ-ЧЕТЫРЕХ КОНВЕЙЕРОВ МОЖЕТ НАХОДИТЬСЯ ДОВОЛЬНО МНОГО КОМАНД. ИХ УДАЛЕНИЕ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ПЕРЕЗАГРУЗКОЙ ПРИВОДИТ К ТОМУ, ЧТО В ТЕЧЕНИЕ НЕСКОЛЬКИХ ТАКТОВ КОНВЕЙЕР НЕ ПОКИДАЕТ НИ ОДНА КОМАНДА. ПРОЦЕССОР, В КОТОРОМ ЭТО СЛУЧАЕТСЯ ЧАСТО, ТЕРЯЕТ 20... 30 % СВОЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ. ПОЭТОМУ RISC-ПРОЦЕССОРЫ ХАРАКТЕРИЗУЮТСЯ ВЕСЬМА ЭФФЕКТИВНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ ПРЕДСКАЗАНИЯ ВЕТВЛЕНИЙ. КРОМЕ ТОГО, ОНИ СОДЕРЖАТ УСТРОЙСТВА, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ ВЫБРАТЬ ТЕ ИЗ КОМАНД В ПРЕДСКАЗАННОМ ПЕРЕХОДЕ, КОТОРЫЕ МОЖНО ВЫПОЛНИТЬ ПРЕЖДЕ, ЧЕМ СТАНЕТ ЯСНО, ПРАВИЛЬНО ЛИ БЫЛ ПРЕДСКАЗАН ПЕРЕХОД.

ЕЩЕ ОДНА ОСОБЕННОСТЬ RISC-ПРОЦЕССОРОВ - ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛЬШОГО ЧИСЛА РЕГИСТРОВ. КАК ПРАВИЛО, В RISC-ПРОЦЕССОРАХ ИХ НЕ МЕНЕЕ 32. ПОДОБНАЯ СВОБОДА (СЕМЕЙСТВО X86 ИМЕЕТ ВСЕГО ВОСЕМЬ РЕГИСТРОВ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ) ПОЗВОЛЯЕТ СНИЗИТЬ ЧИСЛО ОБРАЩЕНИЙ К ОТНОСИТЕЛЬНО МЕДЛЕННОЙ ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ В ПОЛТОРА-ДВА РАЗА (В СРАВНЕНИИ С CISC-ПРОЦЕССОРАМИ), ЧТО ОПЯТЬ-ТАКИ ПОЛОЖИТЕЛЬНО СКАЗЫВАЕТСЯ НА РОСТЕ РЕАЛЬНОЙ

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ. ДОБАВИМ К ЭТОМУ, ЧТО ВСЕ RISC-ПРОЦЕССОРЫ СОДЕРЖАТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КЭШ-ПАМЯТЬЮ ВТОРОГО УРОВНЯ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ РАБОТАТЬ С НЕЙ НА МАКСИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ (В RISC-ИЗДЕЛИЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С КЭШ-ПАМЯТЬЮ ОБЫЧНО ПРОИСХОДИТ НА ЧАСТОТЕ, БОЛЕЕ НИЗКОЙ, ЧЕМ ЧАСТОТА САМОГО ПРОЦЕССОРА).

Очевидно, что RISC-процессоры эффективны в тех областях применения, в которых можно продуктивно использовать структурные способы уменьшения времени доступа к оперативной памяти. Если программа генерирует произвольные последовательности адресов обращения к памяти и каждая единица данных используется только для выполнения одной команды, то фактически производительность процессора определяется временем обращения к основной памяти. В этом случае использование сокращенного набора команд только ухудшает эффективность, так как требует пересылки операндов между памятью и регистром вместо выполнения команд "память, память - память". Программист должен учитывать необходимость локального размещения обрабатываемых данных, чтобы при пересылках между уровнями памяти по возможности все данные пересылаемых блоков данных принимали участие в обработке. Если программа будет написана так, что данные будут размещены хаотично и из каждого пересылаемого блока данных будет использоваться только небольшая их часть, то скорость обработки замедлится в несколько раз до скорости работы основной памяти.

Развитие микропроцессоров происходит при постоянном стремлении сохранения преемственности программного обеспечения (ПО) и повышения производительности за счет совершенствования архитектуры и увеличения тактовой частоты. Сохранение преемственности ПО и повышение производительности, вообще говоря, противоречат друг другу. Процессоры с системой команд x86, относящиеся к классу CISC-процессоров, имеют более низкие тактовые частоты по сравнению с микропроцессорами ведущих компаний-изготовителей RISC-процессоров. Существуют приложения, на которых производительность x86 микропроцессоров значительно ниже. чем у RISC-процессоров, реализованных на той же элементной базе. Однако возможность использования совместимого ПО для различных поколений x86 процессоров, выпущенных в течение последнего десятилетия, обеспечивает им устойчивое доминирующее положение на рынке.

В настоящее время на основе разработок компаний NexGen и AMD, подхваченных компанией Intel, предпринята попытка решить проблему повышения производительности в рамках архитектуры x86. Эти компании, сохраняя преемственность по системе команд с CISC-микропроцессорами семейства x86, создают новые устройства с использованием элементов RISC-архитектуры, использующие концепцию разделенной (decoupled) архитектуры и RISC ядра. В микропроцессор встраивается аппаратный транслятор, превращающий команды x86, в команды RISC-процессора. При этом одна команда x86 может порождать до четырех команд RISC-процессора. Исполнение команд происходит как в развитом суперскалярном процессоре.

Лекция 5.

Методы ускорения переключения контекста процессора

Современные операционные системы и системы программирования широко используют переключение контекста процессора (содержимого регистров и отдельных управляющих триггеров) при отработке входа в прерывание и выхода из него, входа и выхода из подпрограммы и в случае организации мультипрограммной работы. Время переключения контекста должно быть по возможности минимальным, так как затраты на переключение - это плата за организацию совместного протекания совокупности взаимодействующих вычислительных процессов.

Уменьшение времени переключения контекста процессора может быть достигнуто за счет, во-первых, сокращения количества регистров, содержимое которых сохраняется в памяти, во-вторых, аппаратной поддержки сохранения регистров и, в-третьих, введения специальных соглашений, регламентирующих использование регистров в программах, что позволяет перейти от полного сохранения контекста к частичному.

Уменьшение количества сохраняемых регистров ведет к снижению производительности и, вообще говоря, находится в противоречии со стремлением увеличения производительности за счет использования быстрой регистровой памяти и параллельного функционирования устройств процессора, каждое из которых содержит собственные регистры. Однако, этот прием применяется в ряде архитектур, например в транспьютерах компании INMOS и Java-процессорах. Это архитектуры, основанные на операциях со стеком. К числу сохраняемых регистров относятся указатели на текущую позицию стека, на используемую область памяти и т.д. Число таких указателей ограничено, например, в транспьютере их 8, что позволило переключать контекст за 2 микросекунды при тактовой частоте 10 МГц.

Аппаратная поддержка сохранения регистров может реализовываться по разному. С одной стороны, это может быть ускоренный аппаратный перенос содержимого регистров в память. С другой - возможно предоставление каждой вновь активизируемой программе своего множества регистров.

Например, в архитектуре SPARC микропроцессоров компании SUN используется 200 регистров, образующих 8 групп (окон) по 32 регистра с общими для двух соседних окон восемью регистрами. Перекрытие регистровых окон выполнено так, что регистры с номерами 24-31 предыдущего окна служат одновременно регистрами с номерами 0-7 последующего окна. Это, по мнению разработчиков, увеличивает эффективность передачи параметров подпрограммам.

Использование регистров обработки быстрых прерываний. Ряд функций, связанных с обработкой прерываний, выполняются специализированными программами, которые могут использовать ограниченное число регистров. Поэтому в ряде процессоров вводятся специальные регистры, используемые при обработке так называемых быстрых прерываний. Это, например,

прерывание по приему очередного символа сообщения, переносящее символ в память. Действия по началу приема, требующие запуска механизма распределения памяти, и завершению приема всего сообщения требуют, как правило, обычного прерывания, сохраняющего все регистры процессора. Но так как чаще происходит прием очередного символа, то быстрые прерывания дают существенное увеличение производительности.

Стандартизация архитектур микропроцессоров

На протяжении всей истории развития вычислительной техники предпринимались попытки (прежде всего со стороны разработчиков программных средств) стандартизировать архитектуру процессоров, что существенно расширило бы область применения создаваемого программного обеспечения. Осознав безуспешность попыток добиться совместимости на уровне системы машинных команд, разработчики пытались стандартизовать язык ассемблера, языки высокого уровня, языки интерфейса прикладных программ с операционными системами.

Стимулом к этому была и остается постоянно растущая сложность как самих процессоров, так и создаваемых с их использованием программных систем.

Создание сложных новых систем требует, помимо всего прочего, наличия двух обязательных этапов: адекватного описания системы и исчерпывающего тестирования на соответствие этому описанию. Тестирование должно быть доказательным. Не прибегая к примерам из области создания больших прикладных систем, укажем на широко известные ошибки в микропроцессорах известных компаний и на наличие не декларированных возможностей микропроцессоров и операционных систем.

Отсутствие стандартизации не позволяет создавать новые системы путем конструирования из существующих, прошедших апробацию в разнообразных условиях применения большим количеством независимых пользователей.

Попытка комплексного решения проблемы стандартизации - формулирование концепции Открытых систем. Открытые системы представляют совокупность интерфейсов, протоколов и форматов данных, базирующихся на общедоступных, общепринятых стандартах, обеспечивающих переносимость (мобильность) программного обеспечения, взаимодействие между системами, масштабируемость.

Переносимость - свойство, выражающееся в возможности исполнения программы в исходных кодах на различных аппаратных платформах в среде различных операционных систем.

Взаимодействие систем - свойство, выражающееся в способности систем обмениваться информацией с автоматическим восприятием форматов и семантики данных.

Масштабируемость - свойство, выражающееся в возможности исполнения программы на различных ресурсах (объем памяти, число и производительность процессоров) с пропорциональным изменению ресурсов значением показателей

эффективности. Важно понимать, что ресурсы могут не только возрастать, но и уменьшаться. Например, программа может выполняться на произвольном, выделенном для ее исполнения участке памяти.

В рамках концепции Открытых систем архитектура процессора должна поддаваться достаточно простому формальному описанию со спецификацией типов данных, регистров и выполняемых преобразований без "побочных эффектов".

Известны по крайней мере две попытки реализации этого подхода, рассмотренные ниже.

Архитектурно независимая спецификация программ. В настоящее время в рамках международной организации ISO/IEC в комитете по микропроцессорным системам ведется подготовка проекта стандарта ANDF на архитектурно независимый формат спецификации программ (Architecture Neutral Distribution Format). По мнению разработчика компании X/Open Company Ltd., этот формат спецификаций позволит решить проблему переносимости программ. Компиляция исходного кода предполагается двухэтапной. На первом этапе исходный код транслируется в обобщенные декларации интерфейсов прикладных программ (API) в совокупности с обобщенными описаниями типов данных. Фактически полученная оттранслированная программа представляет собой выражение абстрактной алгебры, определенной Architecture Neutral Distribution Format. В результате текст программы может быть подвергнут формальной проверке и преобразованию. На втором этапе генерируется программа для конкретной архитектуры.

Java-технология, предложенная компанией SUN. В основе данной технологии лежит понятие виртуальной Java-машины, спецификации которой включают следующие типы данных:

• byte - байт;

• short - двухбайтовое целое;

• integer - четырехбайтовое целое;

• long - восьмибайтовое вещественное;

• float - четырехбайтовое вещественное;

• double - восьмибайтовое вещественное;

• char - двухбайтовый символ;

• object - четырехбайтовая ссылка на объект;

• returnAddress - четырехбайтовый адрес возврата. В виртуальном Java-процессоре предусмотрены следующие регистры:

• PC - счетчик команд;

• Vars - регистр для доступа к локальным переменным;

• Optop - указатель на стек операндов;

• Frame - указатель на окружение времени выполнения. Большинство команд

Java-процессора имеют длину один байт, что согласуется со стековой архитектурой процессора, использующей небольшое число регистров и указателей на данные,

Использование байт-кода в процессоре Java позволяет уменьшить длину программ. Средняя длина команды составляет 1,8 байта, В последнее время ко всем ранее существовавшим доводам в пользу стандартизации архитектур добавилась практическая потребность работы в сетях типа Internet, что выдвигает требование короткого программного кода. Открытые системы, создаваемые в Internet, позволят накапливать программные продукты и конструировать системы из уже существующих.

Заметим, что архитектура виртуальной Java-машины достаточно похожа на архитектуру транспьютеров компании IMMOS, Отличие фактически состоит в добавлении элементов объектно-ориентированной технологии. Одним из препятствий на пути развития Java-технологии является низкая производительность исполнения Java-кода. Однако есть все предпосылки для преодоления этого препятствия. Например, современные процессоры с архитектурой компании Intel x86 содержат специальный блок, транслирующий сложные команды в совокупность простых команд RISC-процессора. Далее RISC-процессор исполняет эти команды, используя все преимущества RISC-подхода для достижения высокой производительности. Вполне мыслимое дело разработать подобный транслятор для Java-кода, когда байт-код будет транслироваться в команды реального процессора.

Другим возможным подходом к повышению производительности служит примененный в транспьютере T-9000. В нем предпринята попытка при сохранении байтовой системы команд транспьютеров семейств T-2xx, T-4xx, T-8xx повысить скорость исполнения за счет одновременной обработки большого числа команд при исполнении их на параллельно функционирующих обрабатывающих устройствах.

Лекция 6.

ILP процессоры

Архитектура ILP- процессоров

Более высокая производительность достигается как за счёт совершенствования полупроводниковой технологии, так и за счёт увеличения плотности микросхем. Дальнейшего увеличения скорости выполнения программ можно добиться в первую очередь благодаря реализации определённого вида параллелизма. Параллелизм на уровне команд (instruction-level parallelism, ILP) стал возможен благодаря созданию процессоров и методик компиляции, которые ускоряют работу за счёт параллельного выполнения отдельных RISC-операций. Системы на базе ILP используют программы, написанные на традиционных языках высокого уровня для последовательных процессоров, а обнаружение «скрытого параллелизма» автоматически выполняется благодаря применению соответствующей

компиляторной технологии и аппаратного обеспечения.

Тот факт, что эти методики не требуют от прикладных программистов дополнительных усилий, имеет крайне важное значение. Это решение резко отличается от традиционного микропроцессорного параллелизма (многопроцессорный и мультискалярный тип параллельной обработки), который предполагает, что программисты должны переписывать свои приложения. Поэтому сейчас, параллельная обработка на уровне команд, является единственным надёжным подходом, позволяющим добиться увеличения производительности без фундаментальной переработки приложений. Эти два типа параллельной обработки не исключают друг друга; самые эффективные многопроцессорные или мультискалярные системы, вероятнее всего, будут создаваться на базе процессоров ILP.

Компьютерная архитектура – это своего рода соглашение между классом программ, написанных для данной архитектуры, множеством реализаций процессора для неё. Как правило, это соглашение описывает формат и интерпретацию отдельных команд, но в случае с архитектурами ILP это соглашение может быть расширено: в него включается информация о возможном параллелизме между командами.

Есть два крайних подхода, при возможных промежуточных, к отображению присущего микропроцессору внутреннего параллелизма обработки данных на архитектурном уровне в системе команд. Первый подход более консервативен и состоит в том, что никакого указания на параллельную обработку внутри процессора система команд не содержит. Такие процессоры относятся к классу суперскалярных.

Второй подход - напротив полностью открывает все возможности параллельной обработки. В специально отведенных полях команды каждому из параллельно работающих обрабатывающих устройств предписывается действие, которое устройство должно совершить. Такие процессоры называются процессорами с длинным командным словом (VLIW). Предполагается, что существуют компиляторы с языков высокого уровня, которые готовят программы для загрузки их в микропроцессоры.

Основная идея, определяющая развитие ILP микропроцессоров, состоит в построении возможно большего количества параллельных структур при сохранении традиционных последовательных программ. Это означает, что компиляторы и аппаратура микропроцессора сами, без вмешательства программиста, обеспечивают загрузку параллельно работающих функциональных устройств микропроцессора.

Повысить степень параллелизма программы можно изменяя соответствующим образом ее статическую или динамическую структуру. Поскольку статическая структура программы однозначно соответствует ее исходному тексту (в предположении неизменности компилятора), то изменение статической структуры сводится к изменению исходного кода, что, в общем случае, не всегда возможно. Динамическая же структура программы может быть изменена при неизменной статической структуре. И главной целью такого

изменения должно быть повышение степени параллельного исполнения команд.

Суперскалярные процессоры

Суперскалярные процессоры – это реализация ILP-процессора для последовательных архитектур – архитектур, программа для которых не должна передавать и, фактически, не может передавать точную информацию о параллелизме. Поскольку программа не содержит точной информации о наличии ILP, то, задача обнаружения параллелизма должна решаться аппаратурой, которая, следовательно, должна создавать план действий для обнаружения «скрытого параллелизма». Код для суперскалярных процессоров содержит последовательность команд, которая порождает корректный результат, если выполняется в установленном порядке. Код указывает последовательный алгоритм и, за исключением того, что он использует конкретный набор команд, не представляет себе точную природу аппаратного обеспечения, на котором он будет работать или точный временной порядок, в котором будут выполняться команды. Такой подход увеличивает сложность аппаратного обеспечения, в то же время суперскалярный процессор создаёт план выполнения, используя преимущества тех факторов, которые могут быть определены только во время выполнения.

Допустимые границы преобразования динамической структуры программы задают существующие на множестве инструкций отношения: зависимость по управлению и зависимость по данным. При описании архитектур суперскалярных процессоров часто используется модель окна исполнения. При исполнении программы микропроцессор как бы продвигает по статической структуре программы окно исполнения. Команды в окне могут исполняться параллельно, если между ними нет зависимости.

Для устранения зависимостей, вызванных командами переходов, используется метод предсказания, позволяющий извлекать и условно исполнять команды предсказанного перехода. Если позднее обнаруживается, что предсказание было сделано верно, то результаты условно исполненных команд принимаются. Если предсказание было ошибочным, состояние процессора восстанавливается на момент принятия решения о выполнении перехода.

Команды, помещенные в окно исполнения, могут быть зависимы по данным. Эти зависимости обусловлены использованием одних и тех же ресурсов памяти (регистров, ячеек памяти) в разных командах. Поэтому для правильного исполнения программы необходимо использование этих ресурсов в предписываемом программой порядке.

Все виды зависимостей по данным могут быть классифицированы по типу ассоциаций: RAR - "чтение после чтения", WAR - "запись после чтения" и WAW - "запись после записи", RAW - "чтение после записи". Пример различных зависимостей команд по данным показан на рис.11. Некоторые из зависимостей по данным могут быть устранены. RAR, по сути дела,

соответствует отсутствию зависимостей, поскольку в данном случае порядок выполнения команд не имеет значения. Действительной зависимостью является только "чтение после записи" (RAW), так как необходимо прочитать предварительно записанные новые данные, а не старые.

Лишние зависимости по данным появляются в результате "записи после чтения" (WAR) и "записи после записи" (WAW).

После удаления лишних зависимостей по управлению и данным команды могут исполняться параллельно. Формирование расписания параллельного выполнения команд возлагается на аппаратные средства микропроцессора. Это расписание учитывает существующие зависимости между командами и имеющиеся функциональные модули процессора.

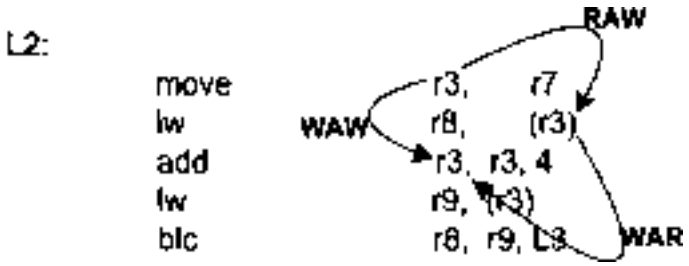


Рис.11. Зависимости команд по данным

Типовая архитектура суперскалярного микропроцессора представлена на рис.12.

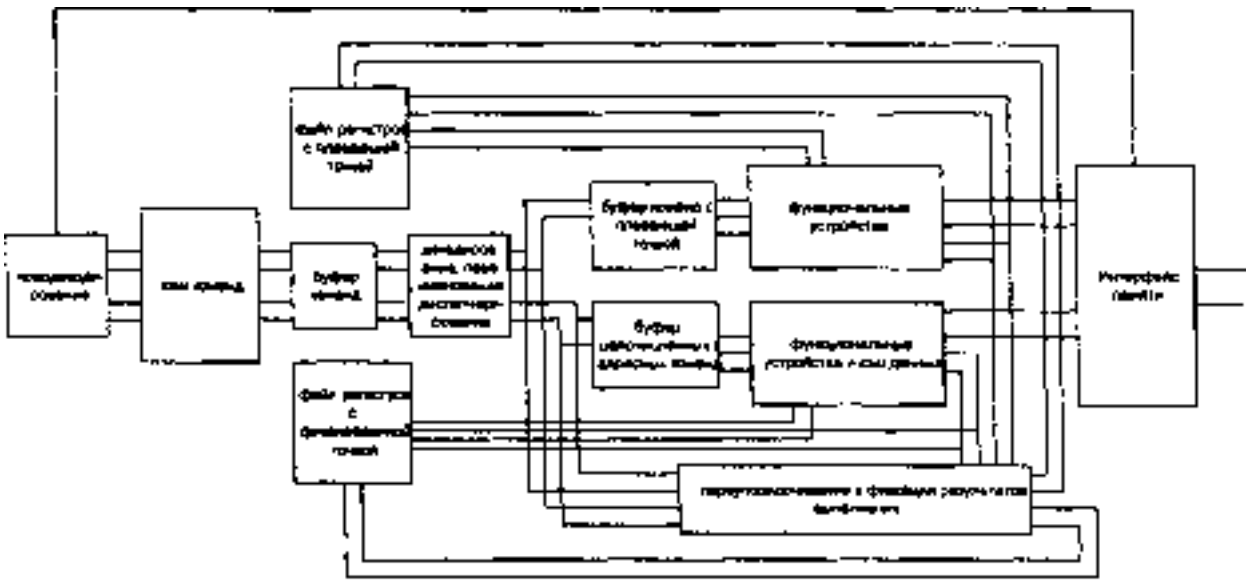


Рис.12. Архитектура суперскалярного микропроцессора

В число основных блоков суперскалярного микропроцессора входят: блок выборки команд и предсказания переходов, блок декодирования команд, анализа зависимостей между командами, переименования и диспетчеризации, блоки регистров и обрабатывающих устройств с плавающей и фиксированной

точками, блок управления памятью, а также блок упорядочения выполненных команд.

Рассмотрим основные приемы повышения быстродействия в суперскалярных микропроцессорах.

Предварительная выборка команд и предсказание переходов. Поскольку при суперскалярной обработке необходимо извлекать из памяти несколько команд за один такт для загрузки параллельно работающих функциональных модулей, повышенные требования предъявляются к пропускной способности интерфейса микропроцессор-память. В современных микропроцессорах применяются многоуровневые раздельные кэш-памяти данных и команд.

Для уменьшения потерь процессорных циклов, связанных с промахами при обращении к кэш-памяти в случае выполнения команд ветвления, в состав системы кэширования введены средства предсказания переходов, основное назначение которых - повысить вероятность наличия в кэш-памяти требуемой команды.

Исполнение условных ветвлений состоит из следующих этапов:

• распознание команды условного ветвления;

• проверка выполнения условия перехода;

• вычисление адреса перехода;

• передача управления, в случае перехода.

На каждом этапе используются специальные приемы повышения производительности:

1. Для быстрого декодирования используются либо дополнительные биты в поле команды, либо преддекодирование команд при выборе из кэш-памяти команд.

2. Часто, когда команда уже выбрана в кэш, условие перехода еще не вычислено и чтобы не задерживать поток команд в данном случае используется предсказание перехода по одной из нескольких возможных схем. Некоторые предсказатели используют статическую информацию из двоичного кода программы или специально выработанную компилятором. Например, определенные коды операций чаще вырабатывают ветвление, чем другие коды, или ветвление более вероятно (при организации циклов), или компилятор может устанавливать флаг, указывающий направления перехода. Может также использоваться статистическая информация, полученная при трассировке программы.

Другие предсказатели используют динамически формируемую информацию в процессе исполнения программы. Обычно это информация, касающаяся истории выполнения данного ветвления, сохраняемая в таблице ветвлений или в таблице предсказаний ветвлений. Таблица предсказания ветвлений организуется по ассоциативному принципу, подобно кэш-памяти, ее элементы доступны по адресу команды, ветвление которой предсказывается. В некоторых реализациях элемент таблицы предсказания ветвления является счетчиком,

значение которого увеличивается при правильном предсказании и уменьшается при неправильном. При этом значение счетчика определяет преобладающее направление ветвлений.

В момент определения действительного значения условия ветвления, вносится изменение в историю ветвления. Если предсказание было неверным, то должна инициироваться выборка правильных команд. Результаты команд, которые были условно выполнены, должны быть аннулированы.

3. Для определения адреса ветвления обычно требуется выполнить целочисленное сложение, прибавляющее к текущему значению счетчика команд смещение, заданное в поле команды ветвления. И хотя это не требует дополнительных циклов для обращения к регистрам, ускорение вычисления адреса может быть достигнуто благодаря использованию буфера, содержащего ранее использованные адреса переходов.

Если требуется осуществить смену значения счетчика команд, то необходим, по крайней мере, один такт для распознания команды ветвления, модификации счетчика команд и выборки команды по заданному значению счетчика команд. Эти задержки вызывают пустые такты в конвейерах процессора. Более сложные решения используют буферы, содержащие наборы команд для двух возможных результатов ветвлений.

Возможно также использование "отложенных переходов", когда одна или несколько команд после команды ветвления выполняются безусловно.

Декодирование команд, переименование ресурсов и диспетчеризация. На этой фазе определяются существенные зависимости (RAW) по данным между командами и преодолеваются несущественные (WAW, WAR), производится распределение команд по буферам команд функциональных устройств.

При декодировании команды создается одна или несколько упорядоченных троек, каждая из которых включает: 1) исполняемую операцию, 2) указатели на операнды, 3) указатель на место помещения результата.

Для преодоления лишних WAR и WAW зависимостей, возникающих в результате ограниченности логических ресурсов (ячеек памяти, регистров), используется механизм динамического отображения определяемых текстом программы логических ресурсов на физические ресурсы микропроцессора. При данном подходе с одним логическим ресурсом может быть связано несколько значений в различных физических ресурсах, каждое из которых соответствует значению логической величины в один из моментов времени последовательного выполнения программы.

Когда команда создает новое значение для логического регистра, физический ресурс, в который помещается это значение, получает имя. Последующие команды, использующие это значение, снабжаются именем физического ресурса. Данная процедура называется переименованием регистров. Используются два основных способа переименования.

В первом, физический файл регистров больше логического. При необходимости переименования из списка свободных физических регистров

берется один и ему сопоставляется соответствующее логическое имя. Если список свободных регистров пуст, диспетчеризация команд приостанавливается до момента появления свободных физических регистров.

Остается вопрос о возвращении физических регистров в список свободных после того, как из них считаны данные в последний раз. Один из способов связывает счетчик с каждым физическим регистром. Счетчик увеличивается при каждом переименовании операнда в командах, использующих этот физический регистр. Соответственно при использовании операнда значения счетчика уменьшается на 1. При достижении счетчиком нуля физический ресурс должен быть переведен в список свободных.

Второй способ переименования использует одинаковое число логических и физических регистров и поддерживает их однозначное соответствие. В дополнение имеется буфер с одним вхождением для каждой инициированной на исполнение команды. Этот буфер называется переупорядочивающим, так как он используется также для установления порядка команд при прерываниях. Данный буфер можно рассматривать в виде кольцевого буфера с указателями "начало" и "конец".

Команды помещаются в конец буфера. По завершению команды ее результат заносится в заранее предписанный ей элемент очереди, независимо от места в очереди, занимаемого этим элементом. К моменту достижения командой начала буфера, если она была исполнена, ее результат помещается в регистровый файл, а сама команда удаляется. Команда, находящаяся в буфере и не исполненная в виду отсутствия значения операнда, остается в нем вплоть до получения этого значения. Одновременно может выбираться из очереди или помещаться в нее несколько команд.

Исполнение команд. После формирования для каждой команды упорядоченных троек, состоящих из кода операции, физических операндов - источника и результата, и размещения их в буферах, наступает фаза динамической проверки готовности значений операндов для исполнения команды.

В идеале команда готова к исполнению как только готовы ее входные операнды. Однако есть ряд ограничений, связанных с доступностью физических ресурсов, таких как исполнительные устройства, коммутаторы и порты регистровых файлов (или переупорядочивающего буфера). Для организации окна исполнения используются различные методы: одной очереди, многих очередей или метод резервирующей станции.

Если имеется одна очередь, то переименование регистров не требуется, так как доступность значений операндов может отмечаться битом резервирования, сопоставленным каждому регистру. Регистр резервируется, когда модифицирующая его команда назначается на исполнение. И регистр освобождается, когда заканчивается исполнение команды. Если для команды ресурсы не были зарезервированы, то она приостанавливает свое исполнение.

В методе многих очередей каждая очередь организуется для команд одного

типа. Например, очередь команд с плавающей точкой или очередь команд работы с памятью.

Третий метод предполагает использование резервирующей станции, состоящей из совокупности элементов, каждый из которых содержит позиции для размещения кода операции, наименования первого операнда, самого первого операнда, признака доступности первого операнда, наименования второго операнда, самого второго операнда, признака доступности второго операнда и наименования регистра результата. Когда команда завершает исполнение и вырабатывает результат, то наименование результата сравнивается с наименованиями операндов в резервирующей станции.

Если в резервирующей станции обнаруживается команда, ждущая этого результата, то данные записываются в соответствующую позицию и устанавливается признак их доступности. Когда у команды доступны все операнды, инициируется ее исполнение. Резервирующая станция следит за доступностью операндов. Когда команда при диспетчеризации попадает в резервирующую станцию, все готовые операнды из регистрового файла переписываются в поля этой команды. Когда все операнды готовы, команда исполняется. Иногда резервирующая станция содержит не сами операнды, а указатели на них в регистровом файле или переупорядочивающем буфере.

Работа с памятью. Для вычисления адреса памяти, как правило, требуется, по крайней мере, одно сложение. После вычисления адреса может понадобиться его преобразование в физический адрес, осуществляемое буфером трансляции адресов (TLB).

Проблемы конфликтов при доступе к разделяемому ресурсу - ячейкам памяти, по сути те же, что и при доступе к регистрам.

Завершение выполнения команды. Завершающей фазой исполнения команды является фаза изменения состояния процессора в соответствии с выполненной командой. Назначение этой фазы - сохранение последовательной модели исполнения программы, при реальном параллельном выполнении отдельных команд и условном выполнении команд ветвления. Для изменения состояния процессора применяются два основных способа, причем оба основаны на использовании двух состояний: состояния, измененного в результате операции, и состояния, требуемого для восстановления.

При первом способе сохраняется состояние процессора в наборе контрольных точек или в буфере истории вычислений, которые, в случае необходимости, используются для восстановления состояния.

Второй способ предполагает рассмотрение логического (архитектурного) и физического состояния процессора. Физическое состояние изменяется немедленно по завершении очередной команды. Архитектурное состояние изменяется тогда, когда ясен результат условно выполненных команд. Для реализации этого способа используется переупорядочивающий буфер: результаты из буфера отправляются в файл архитектурных регистров и память.

В переупорядочивающем буфере для каждой команды содержится

соответствующее ей значение счетчика команд и значения других регистров, которые необходимы для корректного обслуживания прерываний.

На рис.13. показаны основные компоненты суперскалярного микропроцессора: функциональные модули - выполнения операций с плавающей (FPU) и фиксированной (ALU) точкой, устройство загрузки/сохранения, файлы регистров, раздельная кэш-память команд и данных, а также вспомогательные модули, обеспечивающие динамическое планирование вычислительного процесса " устройство связи с кэш-памятью 2-го уровня, блок переупорядочивания команд и блок предварительной дешифрации.

По крайней мере два обстоятельства ограничивают эффективность использования суперскалярных архитектур. Во-первых, есть ограничения на степень параллелизма на уровне команд, даже если применяется самая совершенная техника суперскалярных вычислений. Первое ограничение проистекает из условных переходов. Другое следует из того, что размер окна исполнения (число активных команд, могущих исполняться параллельно) ограничивает возможный присущий программе параллелизм, так как не рассматривается параллельное исполнение команд, находящихся на расстоянии, превышающем размер окна.

Во-вторых, сложность суперскалярного процессора возрастает как количество параллельно исполняемых команд и даже быстрее.

Вероятнее всего, что пределом распараллеливания при суперскалярной обработке является запуск одновременно на исполнение в каждом такте 7-8 команд.

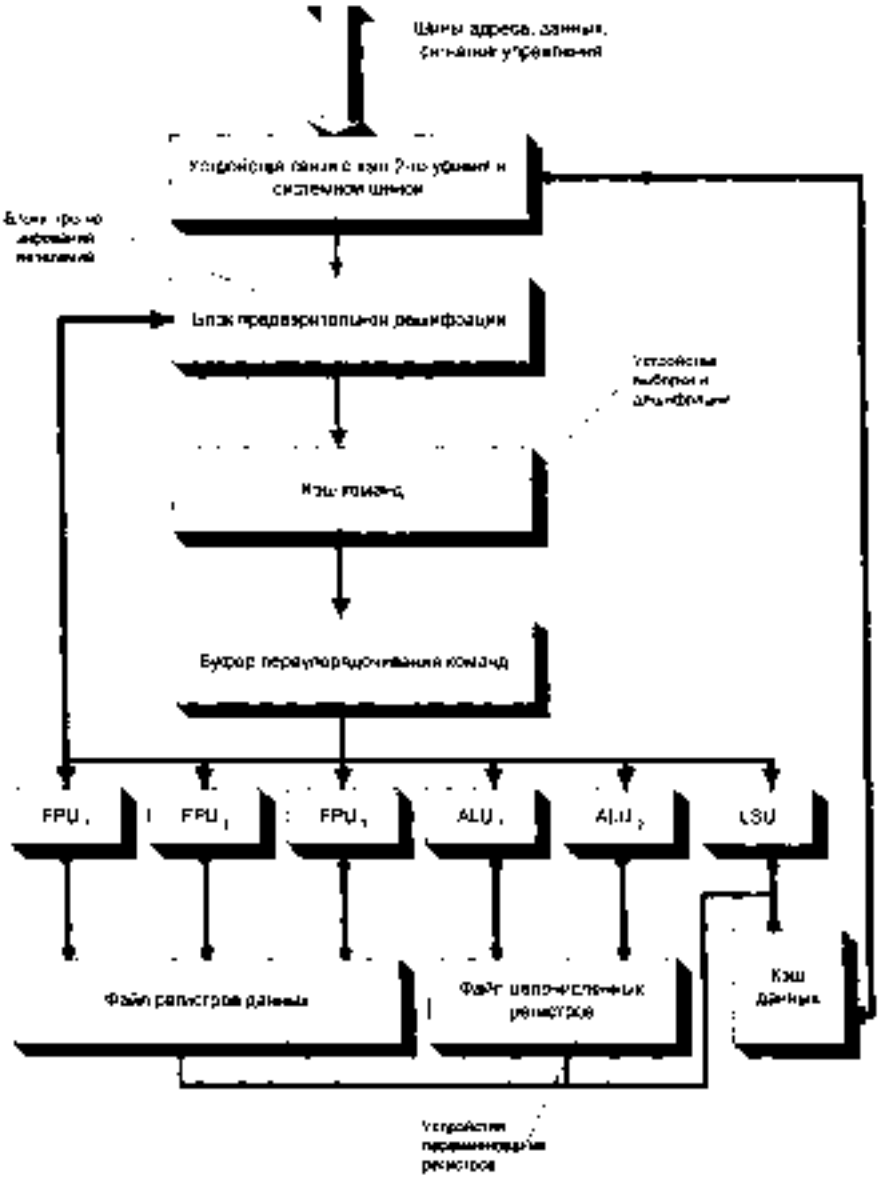


Рис. 13. Структура суперскалярного микропроцессора

VLIW-процессоры.

Альтернатива суперскалярной обработке – процессоры с длинным командным словом (VLIW). Использование этого метода предполагает задание в командном слове совокупности параллельно выполняемых команд. Подготовкой таких программ занимается компилятор.

В отличие от программ для суперскалярных процессоров, код VLIW предлагает точный план того, как процессор будет выполнять программу, план, которой компилятор создаёт статически во время компиляции. Код точно указывает, когда будет выполнена каждая операция, какие функциональные устройства будут работать и какие регистры будут содержать операнды. Компилятор VLIW создаёт такой план выполнения, имея полное представление о процессоре VLIW, причём создаёт этот план так, чтобы добиться требуемой

записи выполнения – последовательности событий, которые действительно происходят во время работы программы. Компилятор передаёт план выполнения (через архитектуру набора команд, которая точно описывает параллелизм) аппаратному обеспечению, которое, в свою очередь, выполняет этот план.

Процессоры VLIW представляют собой пример архитектуры, для которой программа представляет точную информацию о параллелизме. Компилятор выявляет параллелизм в программе и сообщает программному обеспечению, какие операции не зависят друг от друга. Эта информация имеет важное значение для аппаратного обеспечения, поскольку в этом случае оно «знает» без дальнейших проверок, какие операции можно начинать выполнять в одном и том же такте.

Достоинства VLIW заключаются в следующем:

Компилятор может эффективнее исследовать зависимости между командами и выбирать параллельно исполняемые команды, чем это делает аппаратура суперскалярного процессора, ограниченная размером окна исполнения.

VLIW процессор имеет более простое устройство управления и потенциально может иметь более высокую тактовую частоту.

Однако у VLIW процессоров есть серьёзный фактор, снижающий их производительность. Это команды ветвления, зависящие от данных, значения которых становятся известны только в динамике вычислений. Окно исполнения VLIW-процессора, не может быть очень большим в виду отсутствия у компилятора информации о зависимостях, формируемых динамически, в процессе выполнения. Этот недостаток препятствует возможности переупорядочивания операций в VLIW процессоре. Кроме того, VLIW реализация требует большого размера памяти имён, многовходовых регистровых файлов, большого числа перекрёстных связей.

EPIC-процессоры.

Тип архитектуры Explicitly Parallel Instruction Computing – это эволюция архитектуры VLIW, которая абсорбировала в себе многие концепции суперскалярной архитектуры, хотя и в форме, адаптированной к EPIC. По сути, EPIC – это «идеология», определяющая, как создавать ILP-процессоры, а также набор характеристик архитектуры, которые поддерживают данную идеологию. К архитектуре EPIC можно отнести множество различных архитектур набор команд (ISA). Помимо включения или исключения той или иной характеристики архитектуры, которые мы рассматриваем, проектировщики процессоров должны принимать традиционные решения по таким вопросам, как набор кодов операций, диапазон поддерживаемых типов данных и количество используемых регистров. Любая архитектура, относящаяся к классу EPIC должна реализовывать общую идеологию EPIC. В зависимости от того, какие из характеристик EPIC использует архитектура ISA, она может быть оптимизирована для различных приложений, например, для систем общего назначения или встроенных устройств. Из чего следует, что тип архитектуры

EPIC должен быть архитектурой общего назначения, то есть архитектурой, способной достигать высокой степени параллелизма на уровне команд как в числовых, так и в скалярных приложениях.

Одна из целей создания архитектуры EPIC, состоит в том, чтобы сохранить реализованный в VLIW принцип статического создания плана выполнения, но в то же время обогатить его возможностями суперскалярного процессора, которые позволили новой архитектуре лучше учитывать динамические факторы, традиционно ограничивающие параллелизм, свойственный VLIW. Чтобы добиться этих целей, «идеология» EPIC была построена на следующих основных принципах:

Компилятор должен играть ключевую роль в создании плана выполнения, а архитектура должна обеспечивать поддержку необходимых для этого компонентов.

Архитектура должна обеспечивать функции, которые помогают компилятору в использовании статических ILP.

Архитектура должна обеспечивать механизм для передачи плана выполнения компилятора аппаратному обеспечению.

Направления развития ILP архитектуры.

Как уже отмечалось ранее, в ILP процессорах предпринимается попытка в рамках модели последовательных программ реализовать параллельное исполнение команд этих программ. После извлечения последовательного потока команд между командами устанавливаются только действительно необходимые зависимости по данным. При этом сохраняется достаточно информации о порядке следования команд в исходной программе, чтобы сохранить их порядок при наступлении прерывания.

Типичный ILP процессор выбирает команды и исследует их по мере выполнения. Исследование проводится с целью выявления и обработки команд перехода, идентификации типа команды для ее дальнейшего направления на соответствующий исполнительный блок или в буфер памяти. Выполняются также некоторые действия для смягчения зависимостей по данным, например переименование регистров. VLIW процессор возлагает на компилятор статическую реализацию тех функций, которые в суперскалярном процессоре выполняются динамически.

За последние десять лет сравнение достоинств VLIW и суперскалярных архитектур было основной темой в дискуссиях специалистов по вопросам ILP. Сторонники той и другой концепции сводят обсуждение к противопоставлению простоты и ограниченных возможностей VLIW и сложности и динамическим возможностям суперскалярных систем. При этом ясно, что оба подхода имеют свои достоинства и говорить об их альтернативности не уместно. Очевидно, что создание плана выполнения во время компиляции существенно для обеспечения высокой степени распараллеливания на уровне команд, даже для

суперскалярного процессора. Так же ясно и то, что во время компиляции существует неоднозначность, которую можно разрешить только во время выполнения, и для решения этой задачи процессор требует наличия динамических механизмов. Сторонники EPIC согласны с обеими позициями. Различие только в том, что компилятор может управлять такими динамическими механизмами, применяя их выборочно там, где это возможно. Столь широкие функции управления дают компилятору возможность использовать правила управления этими механизмами более оптимально, чем это позволяют аппаратные возможности.

Основные принципы EPIC, наряду с возможностями архитектуры, которые их поддерживают, обеспечивают средства определения ILP-архитектур и процессоров, позволяющих добиться более высокой степени ILP при меньшей сложности аппаратуры в самых разных прикладных областях. IA-64 – пример того, как принципы EPIC могут применятся к вычислительным системам общего назначения - области, где совместимость кода, имеет критически важное значение. EPIC даёт надежды на устойчивый рост производительности микропроцессоров общего назначения на наших приложениях без кардинального переписывания этих приложений. Однако можно быть уверенным в том, что EPIC будет играть столь же важную роль и на рынке высокопроизводительных встроенных систем. В этой области более жёсткие требования к соотношению цена/производительность и при этом более низкие требования к совместимости на уровне объектных модулей, что заставляет использовать более настраиваемые архитектуры.

Дальнейшее повышение производительности микропроцессоров связывается в настоящее время со статическим и динамическим анализом кода с целью выявления резервов параллелизма уровня отдельных команд и программных сегментов с использованием информации, предоставляемой компилятором языка высокого уровня. Исследования в данном направлении привели к разработке мультискалярной архитектуры процессоров, которые являются дальнейшим развитием ILP архитектуры.

Лекция 7.

Мультискалярные процессоры

Мультискалярная модель выполнения программы.

Мультискалярные процессоры используют агрессивную парадигму выполнения кода с целью извлечения параллелизма уровня команд из последовательной программы, представленной на языке высокого уровня. В соответствии с данной парадигмой программа разбивается на совокупность задач с помощью программных и аппаратных средств. Задача - часть программы, выполнению которой соответствует непрерывная область динамической последовательности команд (например, часть базисного блока, базисный блок, множество базисных блоков, одиночная итерация цикла, полный цикл, обращение к функции, и т.д.). Задачи программы статически

разграничиваются аннотациями. Зависимости между операторами программы по управлению представляются как граф управляющих зависимостей (ГУЗ), в котором вершинами являются задачи, а дугами задается порядок их выполнения. Динамика выполнения программы может рассматриваться как обход ГУЗ программы. На каждом шаге обхода мультискалярный процессор назначает одну задачу на один из процессорных элементов (ПЭ) для выполнения, без учета фактического содержания задачи, и продолжает обход ГУЗ от рассматриваемой вершины до следующей.

Задача назначается для выполнения некоторому процессорному элементу, передачей ему начального значения программного счетчика. Множество инициированных таким образом задач выполняется параллельно на процессорных элементах, результатом чего является выполнение множества команд за один процессорный такт.

Каждый из процессорных элементов выбирает и выполняет команды, принадлежащие выделенной ему задаче. Значения разделяемых процессорными элементами регистров копируются в каждый ПЭ. Результат модификации содержимого регистров динамически направляется множеству параллельных ПЭ в соответствии с генерируемыми компилятором масками.

Доступ к памяти осуществляется спекулятивно (условно, по предположению) без знания последовательности предшествующих команд загрузки или сохранения. Обращение к данным осуществляется параллельно многим ПЭ, обработка приостанавливается только в случае истинной зависимости данных.

Пример архитектуры мультискалярного процессора показан на рис.14.

В общих чертах мультискалярный процессор можно рассматривать как параллельную вычислительную систему, состоящую из совокупности ПЭ с программой-планировщиком, которая назначает задачи на ПЭ. Как только задача назначена на ПЭ, он выбирает и выполняет команды задачи, пока она не завершится. Множество ПЭ, каждый с собственным внутренним механизмом последовательного выполнения команд, поддерживают выполнение множества задач. Команды, содержащиеся внутри динамического окна исполнения, ограничены первой командой в самой ранней выполняемой задаче и последней командой в последней выполняемой задаче. При условии, что каждая задача может содержать циклы и обращения к функциям, эффективный размер окна может быть чрезвычайно большим. Существенным является то, что не все команды внутри этого широкого диапазона одновременно рассматриваются для выполнения, а только ограниченный набор внутри каждого из ПЭ.

Важно заметить, что задачи, хотя и разделены на группы команд, но не являются независимыми. Так как задачи являются частями последовательного потока команд, то отношения по данным и управлению между индивидуальными командами должны поддерживаться в процессе выполнения. Ключевым вопросом в мультискалярной реализации является обеспечение связи по данным и управлению между параллельными процессорами. То есть как обеспечить выполнение последовательного обхода ГУЗ, если фактически

выполняется непоследовательный обход.

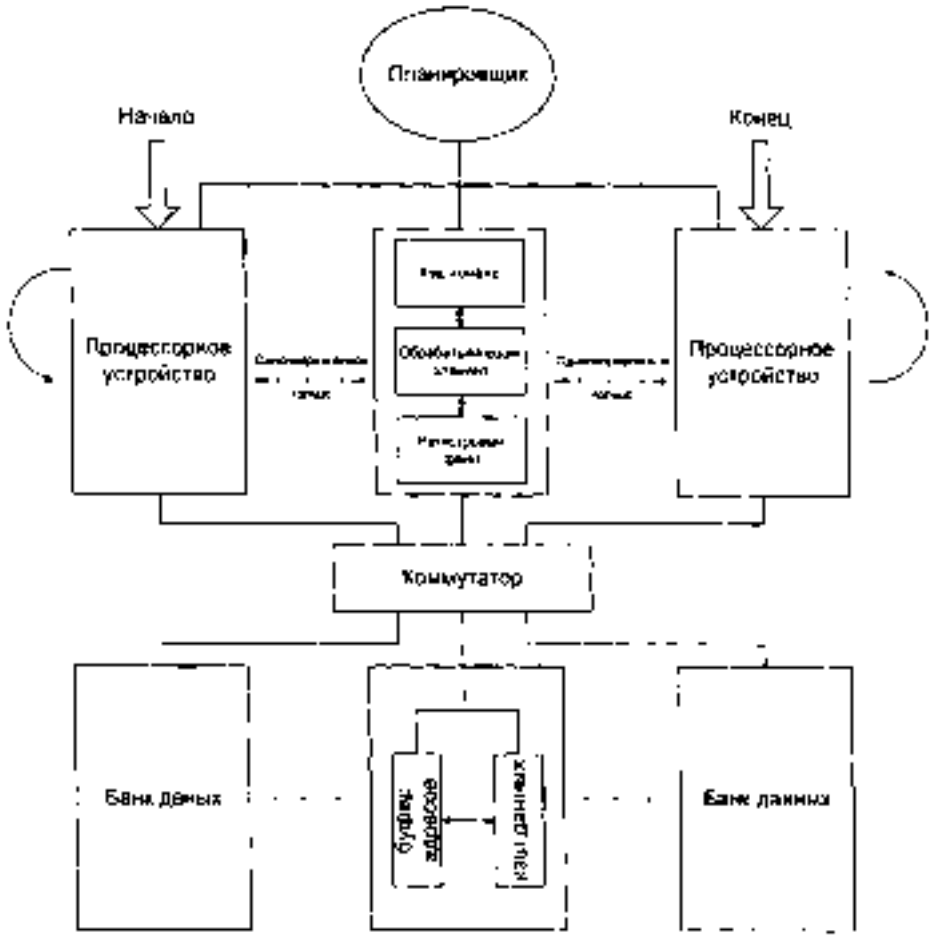


Рис 14. Микроархитектура мультискалярного процессора.

Последовательный обход поддерживается следующим образом. Во-первых, для каждого процессора обеспечивается последовательная модель выполнения назначенной ему задачи. Во-вторых, предписывается последовательный порядок выполнения для совокупности процессоров, который поддерживается с помощью организации циклической очереди ПЭ. Указатели начала и конца очереди идентифицируют ПЭ, которые выполняют самую раннюю и самую позднюю из назначенных текущих задач соответственно.

По мере выполнения команд задачи производятся и потребляются значения переменных программы. Эти значения связаны с местом хранения, а именно с регистрами и с памятью. Так как при последовательном выполнении область хранения переменных рассматривается как единый набор регистров и памяти, мультискалярное выполнение должно поддерживать такую же модель. Кроме того, мультискалярное выполнение должно гарантировать, что значения используются и производятся также, как и при последовательном выполнении. Чтобы обеспечить это, необходимо синхронизировать обмен между задачами.

В случае использования регистровой памяти логика управления

синхронизирует создание значений регистров в задачах-предшественниках с потреблением этих значений в задачах-преемниках. Производимые задачей регистровые значения могут быть определены статически и отмечены в маске создания задачи. В момент выработки соответствующего регистрового значения, если есть необходимая отметка в маске создания, это значение посылается через однонаправленный кольцевой канал (см. рис.14.) последующим задачам, т.е. в ПЭ, которые являются логическими преемниками ПЭ, выработавшего значение. Загружаемые из кольцевого канала в регистры значения, предназначенные для задач-преемников, определяются в маске накопления, которая является объединением масок создания активных в настоящее время задач-предшественников. Как только значения получены из модулей предшественников, очищаются признаки сохранения в модулях преемниках. Если задача использует одно из этих значений, потребляющая команда может быть исполнена только в том случае, если значение было получено, иначе она ждет получения требуемого значения.

В отличие от значений регистров, для значений, хранимых в памяти, в силу динамического вычисления адресов, нельзя заранее точно определить, какие из них используются или производятся задачей. Если известно, что задача потребляет значение из памяти (используя команду загрузки), которое произведено (с помощью команды сохранения) в более ранней задаче, возможно синхронизировать потребление и производство этого значения. То есть загрузка в задаче-преемнице может быть отложена до тех пор, пока в задаче-предшественнице не будет выполнена команда сохранения (похоже на ситуацию с регистрами, однако механизм синхронизации все же другой, в виду несоизмеримости размеров пространства имен).

В более общем случае, когда такое знание недоступно, может быть предпринят консервативный или агрессивный подход. Консервативный подход подразумевает необходимость ожидания до тех пор, пока не возникнет уверенность, что команда загрузки прочтет правильное значение. Этот подход обычно подразумевает задержку выполнения команд загрузки внутри задачи, до тех пор пока не завершили операции записи в память все задачи-предшественницы, результат которых может быть использован последующей командой. При агрессивном подходе загрузки из памяти в регистры ПЭ должны выполняться спекулятивно, в предположении, что задача-предшественница позже не будет сохранять значения в ту же самую ячейку памяти. Чтобы гарантировать, что никакая задача-предшественница не записывает значение в ячейку памяти, предварительно считанную задачей-преемником, должна проводиться проверка в процессе выполнения вычислений. Если эта проверка идентифицирует загрузку и сохранение, которые находятся в противоречии (не происходят в соответствующем порядке), более поздняя задача должна быть прервана и должна быть инициализирована соответствующая процедура восстановления. В мультискалярных процессорах используется агрессивный подход.

Из-за спекулятивного характера мультискалярное выполнение должно иметь как средства подтверждения правильности выполнения, так и средства

исправления в случае неправильного выполнения. Выполнение команд внутри задач может рассматриваться как спекулятивное с двух точек зрения:

• спекулятивное по управлению;

• спекулятивное по данным.

Если в результате спекулятивного управления предсказание следующей задачи оказалось неверным, то следующая задача (задачи) должна быть отменена и восстановлена правильная последовательность задач. Аналогично задача, использующая неправильные данные, должна быть отменена и должно быть восстановлено правильное значение данных. В любом случае отмена задачи приводит к отмене всех задач, выполняемых после отмененной (иначе поддержание последовательной семантики оказывается сложным).

Для упрощения сохранения последовательной семантики исполнения программы мультискалярный процессор удаляет задачи из циклической очереди в том же порядке, в каком их помещал в очередь. В процессе спекулятивного выполнения задача производит значения, которые могут быть как правильными, так и неправильными. Только безусловно правильные результаты задачи могут быть безопасно использованы другими задачами. Тем не менее, в мультискалярном процессоре значения оптимистично посылаются для спекулятивного использования в процессе выполнения других задач. Поскольку задача посылает значения предварительно другим задачам, как только их вырабатывает, большая часть, если не все значения, будут посланы к моменту, когда задача становится головной в очереди. Таким образом, отмена задачи для освобождения процессора и назначения новой задачи может быть выполнена просто путем модифицирования указателя начала очереди.

Мультискалярные программы.

Мультискалярная программа должна обеспечить возможность быстрого обхода ее ГУЗ, в результате которого производится распределение множества задач по множеству процессоров.

Спецификация кода для каждой задачи стандартна. Задача определяется как фрагмент программы для последовательной машины. Хотя система команд, в которой представляется код, оказывает влияние на конструкцию каждого индивидуального процессора, это не оказывает влияния на остальную часть конструкции мультискалярного процессора.

Для ускорения обхода ГУЗ планировщику мультискалярного процессора требуется информация о структуре потока управления программы. В частности, требуется знать, какие задачи являются возможными преемниками любой данной задачи в ГУЗ. Планировщик мультискалярного процессора использует эту информацию для предсказания одной из возможных задач-преемников и продолжения обхода ГУЗ, начиная с текущей отметки. Такая информация может быть определена статически и помещена в описатель задачи. Описатели задачи могут быть расположены внутри текста программы (например, перед кодом задачи) или помещены отдельно, рядом с текстом программы (например,

в конце).

Для согласованного выполнения различных задач необходимо характеризовать каждую задачу в соответствии с набором используемых и производимых задачей значений.

Процедура обработки регистровых значений проста. В результате статического анализа ГУЗ компилятором формируется маска создания. Потребляя значения, задача ожидает их только в том случае, если они еще не были произведены задачей-предшественником. Иначе она находит требуемые значения внутри локальной памяти, переданные по кольцу задачей-предшественницей.

Естественным является расположение маски создания внутри описателя задачи. Так как задача может содержать множество базисных блоков, выполнение которых зависит от обрабатываемых данных, не представляется возможным определить статически, какие регистровые значения будут созданы динамике вычислений. Маска создания должна быть консервативной и вследствие этого включать все возможные регистровые значения, которые могут быть произведены.

По мере выполнения процессором команд задачи производимые значения регистров пересылаются последующим задачам. Так как ПЭ не может определять априорно, какие команды содержит назначенная ему задача, он не может знать, какие из команд выполняют модификацию регистров, чье значение должно быть послано другим задачам. В соответствии с последовательной семантикой другим задачам должен быть послан только результат последней модификации регистра в задаче. Стратегия, связанная с ожиданием выполнения всех команд в задаче (тогда никакие дальнейшие модификации регистров невозможны), нецелесообразна, так как это часто приводит к ожиданию другими задачами значения, которое уже является доступным.

Не все созданные задачей значения должны быть переданы задачам-приемникам. Достаточно передавать лишь те значения, которые будут использованы вне создавшей их задачи.

Компилятор имеет возможность определения последней команды в задаче, которая модифицирует соответствующий регистр. Он может отметить эту команду как специальную (выполнить-и-переслать) команду, которая в дополнение к выполнению определенной операции направляет результат следующим ПЭ. Кроме того, поскольку ПЭ выполняет команды задачи, он может идентифицировать те регистры, для которых значения не будут произведены.

По тем же самым причинам процессор не может определить, какие команды в действительности выполняет назначенная ему задача, так же как не может определять априорно, на какой команде задача завершится, т.е., в какой точке управление передается вне задачи. Во время разбиения компилятором ГУЗ на задачи определяются границы задачи и узлы передачи управления. Команда в

одном из этих узлов передачи управления может быть отмечена специальными условиями остановки так, чтобы соответствующие условия могли быть оценены к моменту выборки такой команды процессором. Если связанные с командой условия останова выполнены, то задача завершена.

Спецификация пересылки и останова может быть задана с помощью добавления тэговой битовой отметки (битов пересылки и стоповых битов) к каждой команде в задаче. Возможно также другое введение битовых отметок. Например, с каждой статической командой может быть ассоциирована таблица тэговых битов. Аппаратные средства выбирают команды из текста программы и соответствующие битовые отметки из таблицы, объединяют эту пару в новую команду и помещают в кэш-память команд. Освобождение регистра может быть задано добавлением специальной команды освобождения базовой системе команд.

Мультискалярная программа может быть сгенерирована из существующей двоичной, путем добавления описателей задачи и битовых отметок. Эта мультискалярная информация может быть размещена внутри кода программы, а также до или после кода.

Разделение исполнительного кода и описателей позволяет упростить процедуру перенесения программы на другие аппаратные средства.

Мультискалярные аппаратные средства.

На мультискалярные аппаратные средства возлагаются функции обхода ГУЗ, назначения задач на ПЭ и выполнения этих задач при сохранении последовательной семантики программы. Работа по определению порядка назначения задач на выполнение возлагается на программу-планировщик. По адресу описателя задачи программа-планировщик выбирает описатель задачи и назначает задачу на ПЭ, выдает адрес первой команды, устанавливает маски создания и накопления для задачи. Планировщик, используя статическую или динамическую схему предсказания, на основе информации из описателя задачи, предсказывает задачу-преемницу. Каждый ПЭ независимо выбирает и выполняет команды задачи до тех пор, пока не сталкивается с командой останова, идентифицирующей завершение задачи.

Основной целью распределения задач по ПЭ мультискалярного процессора является создание возможности выполнения нескольких команд в одном такте. Потери производительности мультискалярного процессора возможны из-за наличия у ПЭ тактов бесполезных вычислений, тактов ожидания и свободных тактов.

Бесполезные такты вычисления представляют работу, которая в последующем будет отменена в виду использования неправильных значений данных или неправильного предсказания. Такты ожидания связаны с ожиданием получения значения, созданного командой в задаче-предшественнице, или значения, созданного командой в той же самой задаче (например, в случае операции с большим временем выполнения или в виду неудачного обращения в кэш), а также с ожиданием при выполнении действий

по перепланированию задач. Неактивные такты составляют время, в течение которого ПЭ не имеет назначенной задачи. Основной причиной их возникновения является несбалансированность загрузки ПЭ.

Для уменьшения потерь, связанных с бесполезными тактами, следует снижать вероятность отмены результатов предыдущих вычислений, обеспечивая синхронизацию ПЭ по данным, а также устанавливать факт необходимости отмены (если он имеет место быть) как можно раньше.

Преимущества мультискалярной архитектуры.

Мультискалярный процессор имеет некоторые свойства, выгодно отличающие его от традиционных суперскалярных микропроцессоров.

При стандартном подходе точность предсказания ветвлений ограничивает степень параллелизма. Если средняя вероятность правильного предсказания перехода - 0,9, то вероятность правильного предсказание на пять ветвлений вперед только 0,6.

Мультискалярный процессор имеет большую глубину предсказания при обеспечении высокой вероятности выбора правильного направления вычислений. Это свойство обусловлено избирательностью предсказания ветвей. Мультискалярный процессор разбивает последовательный поток команд на задачи. Хотя задачи могут содержать внутренние ветви, планировщик должен предсказывать только ветви, которые отделяют задачи. Ветви, содержащиеся внутри задачи, не предсказываются (если они не предсказаны отдельно внутри ПЭ).

Для суперскалярных процессоров наличие широкого окна выполнения приводит к увеличению числа отложенных команд и усложняет контроль результатов выполнения всех команд в этом окне.

В мультискалярной реализации окно может быть очень широким, однако в любой момент времени только несколько команд должны быть рассмотрены на предмет выдачи результатов (только одна для каждого ПЭ). Границы окна отложенных команд могут быть идентифицированы первой и последней командами в очереди на исполнение.

Для одновременной выдачи n результатов в процессоре должна использоваться логика со сложностью n^2, чтобы выполнить перекрестную проверку зависимостей среди команд. В суперскалярном процессоре, это ограничивает пропускную способность логики выдачи. В мультискалярном процессоре каждый ПЭ выдает команды независимо, т.е. используется сложность логики порядка n.

Прежде чем переупорядочить доступ к памяти, необходимо идентифицировать и вычислить все адреса загрузки и записи значений.

В суперскалярной реализации команды загрузки и записи упорядочиваются (или сохраняются в первоначальной последовательности) и помещаются в буфер вместе с адресом доступа к памяти. При выполнении команды загрузки проверяется буфер, чтобы гарантировать, что не отложена никакая более

ранняя команда записи по тому же самому или еще не определенному адресу. При выборке значения из памяти буфер проверяется, чтобы гарантировать, что не отложена никакая более ранняя команда загрузки или записи по тому же самому или еще не определенному адресу. В мультискалярной реализации команды загрузки и записи могут быть выполнены независимо, без знания последовательности выполнения команд загрузки и записи в задачах преемнице или предшественнице.

В суперскалярном процессоре возможна генерация достаточно широкого окна выполнения с большой глубиной предсказания ветвлений. Кроме того, возможно генерировать очень гибкий план выполнения команд. Например, загрузка в вызываемой функции может выполняться параллельно с запоминанием в вызывающей функции. Однако суперскалярный процессор не имеет представления о ГУЗ программы. Поэтому и возникает необходимость предсказания каждого перехода, что, в конечном счете, приводит к снижению точности предсказания и производительности.

Мультискалярный процессор во многом похож на многопроцессорную систему с общей памятью и очень низким уровнем непроизводительных затрат на планирование. Главное их отличие заключается в том, что многопроцессорная система требует, чтобы компилятор делил программу на задачи, где все соотношения зависимостей между задачами известны (предусмотрены программистом путем использования операторов синхронизации и межпроцессорных коммуникаций), а мультискалярный процессор не требует никакого априорного знания относительно связей команд по управлению и данным.

Мультискалярная архитектура объединяет принципы низко- и высокоуровневого распараллеливания, методы анализа статической и динамической структур программы, благодаря чему позволяет добиться более высоких значений эффективности использования вычислительных ресурсов процессора, чем другие типы архитектур. Фактически в мультискалярных процессорах реализован симбиоз автоматически распараллеливающего компилятора, дающего указания аппаратуре процессора в виде отметок команд и специальных команд, и аппаратных средств, воспринимающих эти указания.

Изложенный выше подход не является единственно возможным при реализации этой плодотворной идеи - привлечения компилятора к распределению заданий по ПЭ и балансировке загрузки процессоров в многопроцессорных системах.

Лекция 8.

Организация интерфейса МП устройств с внешними устройствами и памятью. Встроенные микропроцессорные системы управления.

Появление в 1971 году первого микропроцессора ознаменовало собой начало новой эры не только в вычислительной технике, но и в области *систем встроенного управления оборудованием* — эры высокопроизводительных и

надежных цифровых, микропроцессорных систем управления, интегрированных в рабочую машину, механизм, прибор, изделие — станок, робот, стиральную машину, принтер, плоттер, радиотелефон, автомобиль и т.д.

Компьютерная и связанная с ней микропроцессорная техника развиваются столь стремительно, что производительность процессоров удваивается каждые 8-10 месяцев при значительном росте степени интеграции, снижении габаритов, энергопотребления и цены.

Революция в управляющей электронике сопровождается революцией и в силовой электронике, что позволяет создавать *интегрально-гибридные интеллектуальные электронные модули,* а также конструктивно интегрировать в одном изделии рабочий орган механизма, силовой преобразователь, устройство управления, источник питания и датчики.

Вместо традиционного термина «электромеханика» постепенно начинают применять термин «мехатроника», означающий конструктивное объединение механики и электроники на принципиально новом уровне, когда рост управляющих вычислительных ресурсов при использовании *больших интегральных схем* (БИС) сопровождается значительным повышением надежности оборудования, главным образом, за счет резкого уменьшения монтажных соединений и расширением функциональных возможностей изделия в сторону автоматической адаптации к условиям эксплуатации и интерактивного обучения в процессе диалога с оператором.

Встроенной системой управления будем называть систему управления, конструктивно интегрированную в оборудование. Так, система управления, встроенная в статический преобразователь частоты для асинхронных двигателей, может представлять собой одно- или многоплатную микроЭВМ с необходимым набором интерфейсов для обеспечения как непосредственного управления инвертором и приводом в целом, так и взаимодействия с человеком-оператором, включая, например пульт оперативного управления с дисплеем и клавиатурой. Обязательным компонентом такой системы является интерфейс с системой управления более высокого уровня (промышленным программируемым контроллером или компьютером в промышленном исполнении), что позволяет решать задачи комплексной автоматизации с использованием заданного числа единиц технологического оборудования, объединяя это оборудование в единую *распределенную систему управления.*

В зависимости от сложности решаемой задачи встроенная система управления может быть *однопроцессорной* или многопроцессорной *(мультимикропроцессорной), одноуровневой* или *многоуровневой.* В последнем случае на *нижнем уровне управления* решаются задачи *непосредственного управления* отдельными компонентами оборудования (например отдельными осями привода, узлами автомобиля), а на следующем, более высоком, - задачи совместного управления в реальном времени, связи с оператором, системой верхнего уровня и т.д. Типичными примерами являются станки с числовым программным управлением, роботы-манипуляторы, изделия автомобильной и авиационной электроники, системы связи.

Для многоуровневых систем управления в настоящее время четко прослеживается тенденция оформления систем управления *среднего уровня* в самостоятельном конструктиве для монтажа в стойки или в панели управления. Возможен также вариант настольного или настенного монтажа. Такие устройства управления получили название *индустриальных рабочих станций, индустриальных компьютеров, панельных компьютеров, промышленных программируемых контроллеров.* При этом контроллеры нижнего уровня управления могут подключаться к системе среднего уровня управления несколькими способами: через стандартные последовательные или параллельные интерфейсы; путем установки на системную шину в качестве специализированных *устройств сопряжения с объектом (модулей УСО).*

Индустриальные компьютеры имеют, как правило, развитый набор стандартных устройств сопряжения с объектом (УСО), делающий их универсальными средствами управления для широкого круга применений. Тем не менее на нижнем уровне управления двигателями, статическими преобразователями и др. требуется в большинстве случаев разработка *встроенных специализированных контроллеров,* причем эту разработку могут выполнить только специалисты в данной предметной области, хорошо разбирающиеся в особенностях объекта управления, способные предложить и реализовать весь комплекс необходимых алгоритмов оптимального управления объектом.

Главное отличие *промышленного контроллера* от *промышленного компьютера* состоит в адаптации языка программирования под конкретную область применения. Так, большинство промышленных контроллеров, выпускаемых такими известными фирмами как Allen Bredley, Simens, Fanuc, ABB и др. являются *программируемыми логическими контроллерами (PLC)* и имеют встроенные интерпретаторы с языка релейной автоматики или языка Булевой алгебры, что позволяет неспециалисту программирование системы управления. Таким образом, одноуровневые системы встроенного управления выполняются преимущественно на *базе однокристальных микроЭВМ - микроконтроллеров,* а двух- и более -уровневые предполагают использование на среднем уровне управления многоплатных микроЭВМ типа промышленного программируемого контроллера или компьютера в промышленном исполнении.

Встраиваемое управляющее устройство является *микропроцессорной системой управления,* в состав которой кроме центрального процессора на базе однокристального микропроцессора и микроконтроллера входят необходимые дополнительные элементы памяти и периферийные интерфейсные БИС для организации сопряжения с датчиками, объектом управления и системой управления более высокого уровня.

С точки зрения производителей микропроцессорной техники все задачи, решаемые системами встроенного управления делятся на два больших класса: *управление событиями в реальном времени и управление потоками данных.* Каждый класс задач предъявляет свои специфические требования к микропроцессору или микроконтроллеру, что отражается прежде всего в наборе функций, реализуемых на кристалле, а также в системе команд.

К первому классу относятся задачи, требующие быстрой реакции микропроцессорной системы на изменение внешних условий (на срабатывание технологических датчиков, изменение параметров и т.д.). Как правило, системы управления приводами, энергетическими установками, роботами, а также системы распределенной автоматизации относятся к системам первого класса. Эти задачи требуют применения микроконтроллеров с большим объемом интегрированной на кристалл периферии, включая реализацию на кристалле памяти программ, памяти данных и устройств ввода-вывода, что сокращает аппаратные затраты и удешевляет изделие со встроенной системой управления. Чаще всего в системах управления этого класса для реализации алгоритма управления требуется память относительно небольшого объема (до 32 Кбайт).

Ко второму классу задач относятся задачи, требующие быстрой обработки значительных объемов информации, например в микропроцессорных системах поддержки компьютерных сетей, в системах управления летательными аппаратами, подвижным составом, в системах обработки видеоизображений, когда встроенный процессор должен выполнять множество различных вычислительных операций, в том числе операций с плавающей запятой. Как правило, для решения таких задач требуется уже высокопроизводительный 32- или 64-разрядный процессор.

В соответствии с упомянутыми выше классами задач, продукция фирмы Intel для встроенных применений может быть разделена на следующие группы:

• 8-битовые микроконтроллеры первого поколения (семейство MCSR-48).

• Современные 8-разрядные микроконтроллеры (MCSR-51, MCSR-51, MCSR-251).

• Современные 16-разрядные микроконтроллеры для управления в реальном времени (MCSR-96, MCSR-196, MCSR.-296).

• Встраиваемые 16-разрядные и 32-разрядные микропроцессоры PC-подобной архитектуры (80C186, 386EX и др.).

• Высокопроизводительные микропроцессоры, построенные по RISC-технологии (1960).

Первые три группы изделий ориентированы на управление событиями в реальном времени. Две последние группы предназначены преимущественно для управления процессами. Из изделий, предназначенных для управления событиями, группа 16-разрядных микроконтроллеров MCSR-96 является наиболее производительной и имеет богатейший выбор интегрированных на кристалл специализированных периферийных устройств. Основной базой для построения встроенных систем управления нижнего уровня являются именно *однокристальные микроЭВМ и микроконтроллеры,* могут применяться также и законченные одноплатные системы управления на их основе, выпускаемые рядом фирм в качестве *контроллеров-прототипов.* Долгое время в нашей стране были доступны в основном только освоенные отечественной промышленностью младшие модели 8-разрядных микропроцессоров и микроконтроллеров фирмы Intel, совместимые с изделиями MCS-80, MCS-48,

MCS-51, а также 16-разрядные процессоры собственной разработки, система команд которые совместимы с процессорами фирмы DEC (1816ВМ1, 1816ВМ2). В настоящее время ситуация резко изменилась, и вся самая передовая продукция ведущих фирм мира стала доступна отечественному разработчику и производителю.

Сегодня разработчики встроенных систем управления стоят перед непростым выбором: какое изделие и какой фирмы использовать в проекте.

Разработка мощной микропроцессорной системы управления является сложным делом. Для этого необходим штат высококвалифицированных инженеров-схемотехников и программистов, а также соответствующее оборудование, а именно комплект аппаратных и программных средств разработки (кстати, для каждого набора микропроцессорных БИС-свой). Современные микропроцессоры и микроконтроллеры имеют высокие тактовые частоты и требуют исключительной тщательности как при проектировании печатной платы, включая разводку, так и при ее изготовлении.

На сегодняшний день общемировая потребность в микроконтроллерах составляет более 600 млн. штук в год и быстро возрастает. Это говорит о массовом освоении промышленностью изделий с высокопроизводительными встроенными системами управления в самых разнообразных отраслях техники. Эти системы находят применение в автомобильной промышленности, станко- и роботостроении, в самолетной индустрии, в производстве периферийных устройств компьютеров (приводы дисковых накопителей, скоростные принтеры, плоттеры и т.д.), в бытовой технике (стиральные машины, видеомагнитофоны и т.д.) и, разумеется, в энергетике и электромеханике, где 16-разрядные устройства управления появились даже в относительно несложных приводах бытовых кондиционеров. Особенно широкие возможности по применению этих контроллеров открываются перед разработчиками систем автоматизированного привода, стабилизированных источников питания, промышленных контроллеров и других средств автоматизации производственных процессов.

Лекция 9.

Однокристальные микро-ЭВМ.

В микропроцессорной технике выделился самостоятельный класс больших интегральных схем (БИС) - однокристальные микроЭВМ (микроконтроллеры), которые предназначены для "интеллектуализации" оборудования различного технологического назначения. Архитектура однокристальных микроЭВМ - результат эволюции архитектуры микропроцессоров и микропроцессорных систем, обусловленный стремлением существенно снизить их аппаратные затраты и стоимость.

Однокристальные микроЭВМ представляют собой приборы, конструктивно выполненные в виде одной БИС и включающие в себя все устройства, необходимые для реализации цифровой системы управления минимальной конфигурации: процессор, запоминающее устройства

данных, запоминающее устройство команд, внутренний генератор тактовых сигналов, а также программируемые схемы для связи с внешней средой.

Использование однокристальных микроЭВМ в системах управления обеспечивает достижение исключительно высоких показателей эффективности при столь низкой стоимости, что им, видимо, нет в ближайшем времени альтернативной элементной базы для построения управляющих и/или регулирующих систем.

Отечественная микроэлектронная промышленность освоила широкомасштабный выпуск однокристальных микроЭВМ, к числу которых можно отнести 4-битные микроконтроллеры серий 1814, 1820, 1829 и 1013; 8-битные микроЭВМ серии 1816; микроконтроллеры сигнальные (аналоговые микропроцессоры) серии 1813. В данном курсе в качестве базовых выбраны однокристальные микроЭВМ (ОМЭВМ) серии 1816. В настоящее время в состав этой серии входят два семейства ОМЭВМ МК48 и МК51.

Общие сведения об однокристальных микроЭВМ семейства МК48.

Семейство МК48 включает ряд моделей ОМЭВМ, функциональный состав и технические характеристики которых отражают как различные в идеологическом подходе к применению ОМЭВМ, так и прогрессе технологии СБИС. Все модели, входящие в семейство МК48, являются полностью совместимыми по системе команд. назначению и разводке выводов, совокупности основных функциональных устройств из базового набора семейств.

Первое поколение отечественных ОМЭВМ семейства МК48 - БИС КР1816ВЕ48 и КР1816ВЕ35 являются функционально-конструктивными аналогами БИС соответственно 8748 и 8035 фирмы Intel (США), выполнены по n-канальной МОП-технологии, что обусловило следующие ограничения: уровень интеграции до 18 тыс. транзисторов на кристалле, частота следования тактовых сигналов - 6.0 МГц, объем внутренней памяти ОЗУ - 64 байта, ППЗУ - 1 кбайт и минимальное время цикла - 2,5 мкс.

Второе поколение - БИС КР1816ВЕ49, КР1816ВЕ39 (аналоги БИС 8049 и 8039 фирмы Intel) выполнено по n-канальной МОП-технологии с пропорциональным масштабированием, что позволило повысить уровень интеграции до 36 тыс. транзисторов на кристалле, частоту следования тактовых сигналов до 11МГц, увеличить объем ОЗУ до 128 байт, ПЗУ до 2 кбайт и снизить минимальное время цикла до 1,36 мкс.

Третье поколение семейства МК48 - БИС ОМЭВМ серии КР1830: КР1830ВЕ48, КР1830ВЕ35 (аналоги БИС 80С48, 80С35 фирмы Intel) выполнено по КМОП-технологии, что позволило на порядок уменьшить ток потребления по сравнению с БИС КР1816 ВЕ48, КР1816ВЕ35 при сохранении остальных параметров.

ОМЭВМ КР1816ВЕ48, КР1816ВЕ35, КР1830ВЕ48 и КР1830ВЕ35 полностью идентичны в части структурной реализации. При этом в БИС

КМ1816ВЕ48 программная память размещается во внутреннем ППЗУ с ультрафиолетовым (УФ) стиранием, а в БИС КР1830ВЕ48 - во внутреннем ПЗУ масочного типа. Таким образом, оперативность программирования ППЗУ позволяет использовать ОМЭВМ КР1816ВЕ48 при создании контроллеров единичных экземпляров или мелкосерийных изделий. Потребители БИС КР1830ВЕ48 лишены такой возможности, так как программирование ПЗУ осуществляется в процессе изготовления БИС по данным "прошивки" заказа потребителя.

В микросхемах КР1816ВЕ35 и КР1830ВЕ35 в отличие от БИС КМ1816ВЕ48, КР1830ВЕ48 память программ реализуется только за счет подключения внешней памяти любого типа (ОЗУ, ППЗУ, ПЗУ) общим объемом до 4 кбайт. Эта особенность позволяет использовать их в качестве отладочного варианта, когда память программ реализуется в ОЗУ, что позволяет легко модифицировать отлаживание программ.

ОМЭВМ КР1816ВЕ49 и КР1816ВЕ39 имеют одну и ту же структуру, одинаковые схемотехнические решения и технические характеристики, за исключением памяти программ: ОМЭВМ КР1816ВЕ49 имеет внутреннюю память программы объемом 2 кбайт, выполненную в виде масочного ПЗУ, а ОМЭВМ КР1816ВЕ39 может использоваться только с внешним ЗУ программ.

Реализация программной памяти КР1816ВЕ49 в виде ПЗУ обуславливает целесообразность применения этих ОМЭВМ только для изделий средне- и крупносерийного производства, что обеспечивает в этом случае низкую стоимость ОМЭВМ. В качестве отладочной модели, а также при разработке единичных экземпляров изделий целесообразно использовать ОМЭВМ КР1816ВЕ39 с внешней памятью программ.

В общем виде основные отличительные особенности ОМЭВМ семейства МК48 представлены в таблице 1.

Таблица 1

Микро-схемы	Аналог	Объем внутр. памяти	Тип памяти программ	Объем Памяти Данных	Макс. частота след.тактовых сигналов	еб я
				байт	МГц	
КР1826ВЕ35 КР1816ВЕ48	8035 8748	НЕТ 1К НЕ	ВНЕШН. УФППЗУ	64 64 128 128	6.0 6.0 11.0 11.0	0 0

КР1816ВЕ39	8039	Т 1К	ВНЕШН. ПЗУ	64 64	64 64	0
КР1816ВЕ49	8049	НЕТ 1К	ВНЕШН. ПЗУ			0
КР1830ВЕ35	80C35					
КР1830ВЕ48	80C48					

В ОМЭВМ предусмотрена возможность расширения памяти программ до 4 кбайт, памяти данных до 384 байт и увеличения числа линий ввода вывода за счет подключения внешних кристаллов памяти программ, ОЗУ и БИС интерфейсов.

Однокристальные микро-ЭВМ семейства МК51.

8-разрядные высокопроизводительные однокристальные микроЭВМ семейства МК51 выполнены по высококачественной n-МОП-технологии (серия 1816) и КМОП-технологии (серия 1830).

Использование ОМЭВМ семейства МК51 по сравнению с МК48 обеспечивает увеличение объема памяти программ и памяти данных. Новые возможности ввода-вывода и периферийных устройств расширяют диапазон применения и снижают общие затраты системы. В зависимости от условий использования, быстродействие системы увеличивается минимум в два с половиной раза и максимум на порядок.

Семейство МК51 включает пять модификаций ОМЭВМ (имеющих идентичные основные характеристики), различающиеся реализацией памяти программ и мощностью энергопотребления.

ОМЭВМ КР1816ВЕ51 и КР1830ВЕ57 содержат масочно-программируемое в процессе изготовления кристалла ПЗУ памяти программ емкостью 4 кбайт и рассчитаны на применение в массовой продукции. За счет использования внешних микросхем памяти общий объем памяти программ может быть расширен до 64 кбайт.

ОМЭВМ КМ1816ВЕ751 содержит ППЗУ емкостью 4 кбайт с УФ стиранием и удобна на этапе разработки системы при отладке программ, а также при производстве небольшими партиями или при создании систем, требующих в процессе эксплуатации периодической подстройки. За счет использования внешних микросхем памяти общий объем памяти программ может быть расширен до 64 кбайт.

ОМЭВМ КР1816ВЕ31 и КР1830ВЕ31 не содержат встроенной памяти программ, однако могут использовать до 64 кбайт внешней постоянной или перепрограммируемой памяти программ и эффективно использоваться в системах, требующих существенно большего по объему (более чем 4 кбайт на

кристалле) ПЗУ памяти программ.

Каждая из перечисленных выше микросхем является соответственно аналогом БИС 8051, 80С51, 8751, 8031, 80С31 семейства MCS-51 фирмы Intel (США).

Сравнительные данные микросхем МК51 приведены в таблице 2.

Таблица 2

МИКРО-СХЕМЫ	АНАЛОГ	ОБЪЕМ ВНУТР. ПАМЯТИ	ТИП ПАМЯТИ ПРОГРАММ	ОБЪЕМ ПАМЯТИ ДАННЫХ	МАКС. ЧАСТОТА СЛЕД. ТАКТОВ. СИГНАЛОВ	ТОК ПОТРЕБ-ЛЕНИЯ
		БАЙТ		БАЙТ	МГЦ	МА
КР1826ВЕ31	8031АН	НЕТ	ВНЕШН.	128	12.0	150.0
КР1816ВЕ51	8051АН	4К	ПЗУ	128	12.0	150.0
КР1816ВЕ751	8751Н	4К	ППЗУ	128	12.0	220.0
КР1830ВЕ31	80С31ВН	НЕТ	ВНЕШН.	128	12.0	18.0
КР1830ВЕ51	80С51ВН	4К	ПЗУ	128	12.0	18.0

Каждая ОМЭВМ рассматриваемого семейства содержит встроенное ОЗУ памяти данных емкостью 128 байт с возможностью расширения общего объема оперативной памяти данных до 64 Кбайт за счет использования внешних микросхем ЗУПВ.

Общий объем памяти ОМЭВМ семейства МК51 может достигать 128 Кбайт: 64 Кбайт памяти программ и 64 Кбайт памяти данных.

ОМЭВМ МК51 выполнены на основе высокоуровневой n-МОП-технологии и выпускаются в корпусе типа DIP, имеющем 40 внешних выводов. ОМЭВМ данного семейства содержат следующие основные узлы:

1. центральный 8-разрядный процессор;
2. память программ объемом 4 Кбайт;
3. память данных объемом 128 байт;
4. четыре 8-разрядных программируемых канала ввода-вывода;
5. два 16-битовых многорежимных таймера/счетчика;
6. систему прерываний с пятью векторами и двумя уровнями;
7. последовательный интерфейс;
8. тактовый генератор.

Система команд ОМЭВМ содержит 111 базовых команд с форматом 1,2 или 3 байта.

ОМЭВМ имеет: 32 РОН; 128 определяемых пользователем программно-управляемых флагов; набор регистров специальных функций.

РОН и определяемые пользователем программно-управляемые флаги расположены в адресном пространстве внутреннего ОЗУ данных.

Структурная схема ОМЭВМ представлена на рис.10. Основу

структурной схемы МК51 составляет внутренняя двунаправленная 8-битовая шина, которая связывает между собой все основные узлы и устройства: арифметико-логическое устройство (АЛУ), резидентную память, блок регистров специальных функций, устройство управления и порты ввода-вывода.

Устройство управления МК51 на основе сигналов синхронизации формирует машинный цикл фиксированной длительности, равной 12 периодам кварцевого резонатора или шести состояниям первичного управляющего автомата (S1-S6). Каждое состояние управляющего автомата содержит две фазы (P1, P2) сигналов резонатора. В фазе P1, как правило, выполняется операция в АЛУ, а в фазе P2 осуществляется межрегистровая передача. Весь машинный цикл состоит из 12 фаз, начиная с фазы S1P1 и кончая фазой S6P2.

Арифметико-логическое устройство. 8-битное АЛУ может выполнять арифметические операции сложения, вычитания, умножения и деления, логические операции И, ИЛИ, исключающее ИЛИ, а также операции циклического сдвига, сброса, инвертирования и т.п. В АЛУ имеются программно-недоступные регистры T1 и T2, предназначенные для временного хранения операндов, схема десятичной коррекции и схема формирования признаков.

Важной особенностью АЛУ является его способность оперировать не только байтами, но и битами. Отдельные программно-доступные биты могут быть установлены, сброшены, инвертированы, переданы, проверены и использованы в логических операциях. Вследствие этого, МК51 иногда называют "булевским процессором".

Таким образом, АЛУ может оперировать четырьмя типами объектов: булевскими (1 бит), цифровыми (4 бита), байтовыми (8 бит), адресными (16 бит).

Резидентная память. Резидентная память МК51 включает в себя память программ (РПП) и память данных (РПД). РПП и РПД физически и логически разделены, имеют различные механизмы адресации, работают под управлением различных сигналов и выполняют разные функции.

РПП имеет емкость 4Кбайта и предназначена для хранения команд, констант, управляющих слов инициализации и т.п. Она имеет 16-битную шину адреса, по которой обеспечивается доступ из счетчика команд (PC) или из регистра указателя данных (DPER). Последний выполняет функции базового регистра при косвенных переходах.

РПД (ОЗУ) предназначена для хранения переменных в процессе выполнения прикладной программы, адресуется одним байтом и имеет емкость 128 байт. Кроме того, к адресному пространству РПД примыкают адреса регистров специальных функций (SFR).

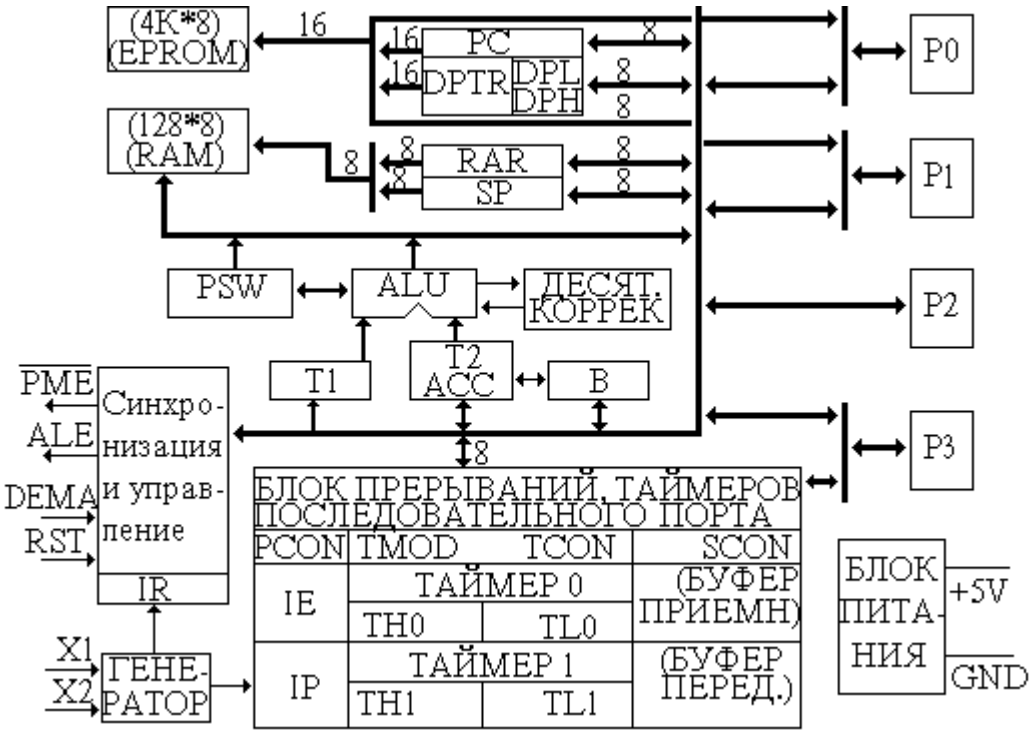


РИС.10. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ОМЭВМ

На рис. 10. приняты следующие обозначения для управляющих сигналов:

/PME- разрешение внешней памяти программ, сигнал выдается только при обращении к внешней памяти программ;

ALE - строб адреса внешней памяти, сигнал используется для приема и фиксации адреса внешней памяти на внешнем регистре;

DEMA - блокирование работы с внутренней памятью, отключение резидентной памяти программ;

RST - сигнал общего сброса, служит также выводом резервного питания ОЗУ от внешнего источника;

X1, X2 - выводы для подключения кварцевого резонатора.

РПП и РПД могут быть расширены до 64 Кбайт путем подключения внешних БИС.

Регистры аккумулятора и PSW (регистр признаков операций). Аккумулятор является источником операнда и местом фиксации результата при выполнении арифметических, логических операций и ряда операций передачи данных.

При выполнении многих команд в АЛУ формируется ряд признаков операций (флагов), которые фиксируются в регистре PSW.

Регистры указатели. 8-битный указатель стека (SP) может адресовать любую область РПД. Его содержимое инкрементируется прежде, чем данные будут запомнены в стеке в ходе выполнения команды PUSH и CALL. Содержимое SP декрементируется после выполнения команд RET и POP. Подобный способ адресации элементов стека называют прединкрементным/постинкрементным.

Двухбайтовый регистр указатель данных (DPTR) обычно используется для фиксации 16-битного адреса в операциях с обращением к внешней памяти. DPTR может быть использован или как 16-битный регистр, или как два независимых 8-битных регистра (DPH и DPL).

Буфер последовательного порта. Регистр с символическим именем SBUF представляет собой два независимых регистра - буфер приемника и буфер передатчика. Загрузка байта в SBUF автоматически вызывает начало процесса передачи через последовательный порт.

Когда байт считывается из SBUF, это значит, что его источником является приемник последовательного порта.

Блок таймеров/счетчиков. В составе средств МК51 имеются регистровые пары с символическими именами TH0, TL0 и TH1, TL1, на основе которых функционируют два независимых программно-управляемых 16-битных таймера/счетчика событий. Таймеры/счетчики (Т/С) предназначены для подсчета внешних событий, для получения программно-управляемых временных задержек и выполнения время-задающих функций ОМЭВМ.

В состав блока Т/С входят: два 16-разрядных регистра Т/С0 и Т/С1; 8-разрядный регистр режимов Т/С (TMOD); 8-разрядный регистр управления (TCON); схема инкремента; схема фиксации INT0, INT1, T0, T1; схема управления флагами.

16-разрядные регистры Т/С выполняют функцию хранения содержимого счета. Код начального счета заносится в указанные регистры программно. В процессе счета содержимое регистров инкрементируется. Признаком окончания счета является переполнение регистров.

Регистр TMOD хранит код, определяющий:

- один из 4-х возможных режимов работы каждого Т/С;

- работу в качестве таймеров или счетчиков;

- управление Т/С от внешнего вывода.

Регистр TCON предназначен для приема и хранения кода управляющего слова

При работе в качестве таймера содержимое Т/С инкрементируется в каждом машинном цикле, т.е. через каждые 12 периодов резонатора. При работе в качестве счетчика содержимое Т/С инкрементируется под воздействием перехода из 1 в 0 внешнего входного сигнала, подаваемого на соответствующий (T0, T1) выводы МК51. Опрос значения внешнего входного сигнала выполняется в момент времени S5P2 каждого машинного цикла. Содержимое счетчика будет увеличено на 1 в том случае, если в предыдущем цикле был считан входной сигнал высокого уровня (1), а в следующем - сигнал низкого уровня (0). Новое (инкрементированное) значение счетчика будет сформировано в момент S3P1 в цикле, следующем за тем, в котором был обнаружен переход сигнала из 1 в 0. Так как на распознавание перехода требуется два машинных цикла, то максимальная

частота подсчета входных сигналов равна 1/24 частоты резонатора. На длительность периода входных сигналов ограничений сверху нет. Для гарантированного прочтения входного считываемого сигнала он должен удерживать значение 1 как минимум в течении одного машинного цикла МК51.

Режим работы 0,1 и 2 для обоих Т/С одинаковы. Режим 3 для Т/С0 и Т/С1 различны.

Рассмотрим кратко работу Т/С во всех режимах.

В режиме 0 таймерный регистр имеет разрядность 13 бит. При переходе из состояния "все единицы" в состояние "все нули" устанавливается флаг прерывания от таймера TF. Входной синхросигнал таймера разрешен (поступает на вход Т/С), когда управляющий бит TR установлен в 1 и либо управляющий бит GATE (блокировка) равен 0, либо на внешний вывод запроса прерывания INT поступает уровень 1.

Отметим попутно, что установка бита GATE в 1 позволяет использовать таймер для измерения длительности импульсного сигнала, подаваемого на вход запроса прерывания.

Работа любого Т/С в режиме 1 такая же, как и в режиме 0, за исключением того, что таймерный регистр имеет разрядность 16 бит.

В режиме 2 работа организована таким образом, что переполнение 8-битного счетчика TL приводит не только к установке флага TF, но и автоматически перезагружает в TL содержимое старшего байта TH таймерного регистра, которое предварительно было задано программным путем.

Т/С1 в режиме 3 заблокирован и просто сохраняет значение кода в регистре Т/С.

Т/С0 в режиме 3 представляет собой два независимых устройства на основе 8-ми разрядных регистров TL0 и TH0. Устройство на основе TL0 может работать в режиме таймера и в режиме счетчика, за ним сохраняются все биты управления Т/С0, оно реагирует на воздействия по входам T0, INT0. При переполнении TL0 устанавливается флаг TF0. Устройство на основе регистра TH0 может работать только в режиме таймера. Оно использует бит включения TR1, при переполнении TH0 выставляет флаг TF1.

Порты. Порты P0, P1, P2, P3 являются двунаправленными портами ввода-вывода и предназначены для обмена информацией ОМЭВМ с внешними устройствами, образуя 32 линии ввода-вывода. Каждый из портов содержит фиксатор-защелку, который представляет собой 8-ми разрядный регистр, имеющий байтовую и битовую адресацию для установки (сброса) разрядов с помощью программного обеспечения.

Помимо работы в качестве обычных портов ввода-вывода линии портов P0-P3 могут выполнять ряд дополнительных функций.

Через порт P0:

- выводится младший байт адреса A0-A7 при работе с внешней памятью

программ и внешней памятью данных;

- выдается и принимается байт данных при работе с внешней памятью (при этом обмен байтом данных и вывод младшего байта адреса внешней памяти мультиплексируются по времени);

- задаются данные при программировании внутреннего ППЗУ и читается содержимое внутренней памяти программ.

Через порт P1:

- задается младший байт адреса при программировании внутреннего ППЗУ и при чтении внутренней памяти программ.

Через порт P2:

- выводится старший байт адреса A8-A15 при работе с ВПП и ВПД;

- задается старший байт адреса (A8-A14) при программировании внутреннего ППЗУ и при чтении внутренней памяти программ.

Каждая линия порта P3 имеет индивидуальную альтернативную функцию. Альтернативная функция любой из линий порта P3 реализуется только в том случае, если в соответствующем этой линии разряде фиксатора защелки содержится "1". В противном случае на линии порта будет присутствовать "0".

Организация обращения к ВПД. В ОМЭВМ предусмотрена возможность расширения памяти данных путем подключения внешних устройств емкостью до 64 Кбайт. Команды ОМЭВМ могут формировать 8-разрядный адрес ВПД, который выдается через порт P0, либо 16-разрядный адрес, младший байт которого выдается через порт P0, а старший - через порт P2. Байт адреса, выдаваемый через порт P0, должен быть зафиксирован во внешнем регистре по спаду сигнала ALE, т.к. в дальнейшем линии порта P0 используются как шина данных, через которую байт данных принимается из памяти при чтении или выдается в память данных при записи. При этом чтение стробируется сигналом RD, а запись - сигналом WR. Схема подключения внешней памяти данных к ОМЭВМ показана на рис.11.

Пространства внутренней и внешней памяти данных не пересекаются, т.к. доступ к ним осуществляется с помощью разных команд. Т.о. в системе могут одновременно присутствовать внутренняя память данных с адресом 00H-FFH и внешняя память данных с адресом 0000H-FFFFH. Обращение к ячейкам ВПД осуществляется только с использованием косвенной адресации по регистрам R0 и R1 активного банка регистров внутреннего ОЗУ или по регистру специальных функций DPTR. Соответственно в первом случае будет формироваться 8-разрядный адрес ВПД.

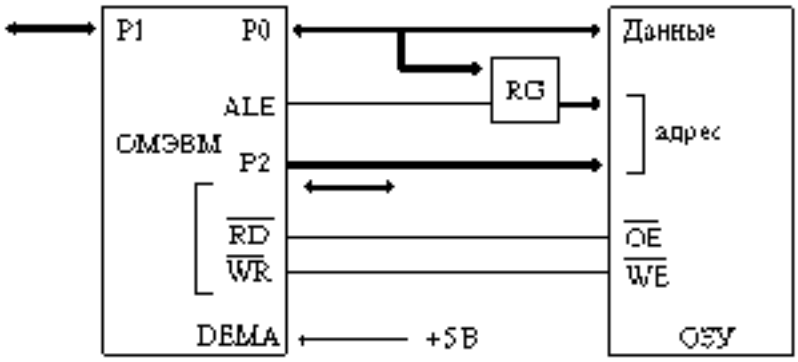


Рис.11. Схема подключения внешней памяти данных к ОМЭВМ

На рис.12а, 12б, соответственно, приведены диаграммы циклов чтения и записи при работе ОМЭВМ с внешней памятью данных.

DPL, DPH - соответственно младший и старший байты регистра указателя данных DPTR, который используется в качестве регистра косвенного адреса. R0 - регистр R 0 текущего банка, который используется в качестве регистра косвенного адреса.

P2SFR - защелка порта P2.

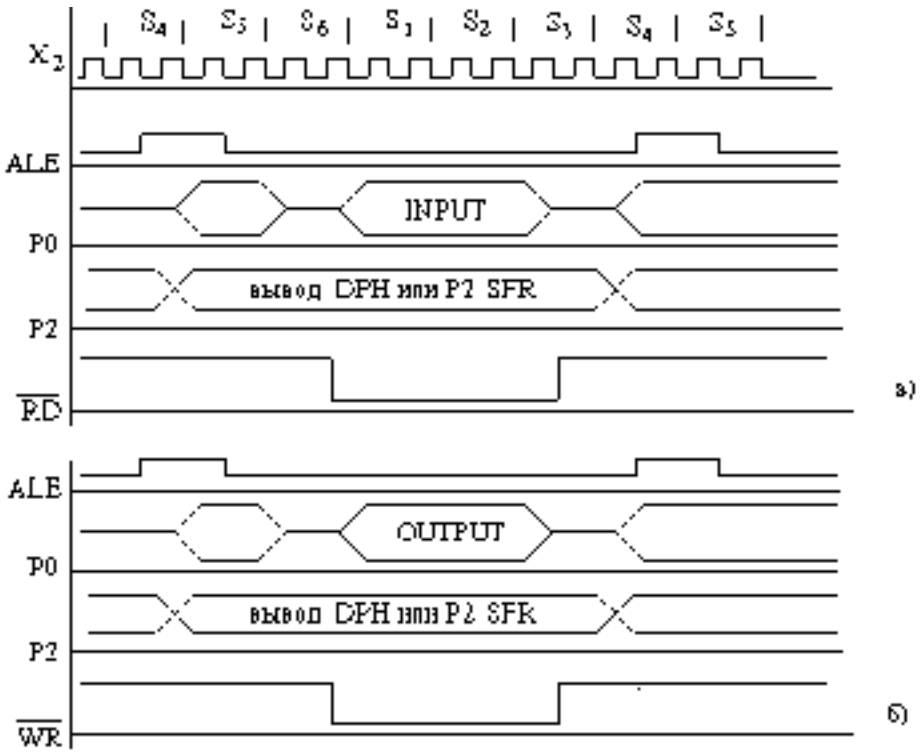


Рис.12. Диаграммы циклов чтения и записи при работе ОМЭВМ с внешней памятью данных

Память программ. Память программ предназначена для хранения кодов программ и имеет отдельное от памяти данных адресное пространство объемом до 64 Кбайт, причем для БИС 1816ВЕ51, 1816ВЕ75 и 1830ВЕ51 часть памяти программ с адресами 0000H-0FFFH расположена на кристалле ОМЭВМ. Если на вывод DEMA подано напряжение Ucc , то обращение к ВПП происходит автоматически при выработке счетчиком команд адреса,

превышающего 0FFFH.

Если на вывод DEMA подан "0", внутренняя память программ отключается и начиная с адреса 0000H все обращения выполняются только к внешней памяти программ.

Чтение из внешней памяти программ стробируется сигналом ОМЭВМ XOR(PME). При работе с внутренней памятью программ сигнал XOR(PME) не формируется.

При обращении к ВПП всегда формируется 16-разрядный адрес, младший байт которого выдается через порт P0, а старший - через порт P2. При этом байт адреса, выдаваемый через порт P0, должен быть зафиксирован во внешнем регистре по спаду сигнала ALE, т.к. в дальнейшем линии порта P0 используются в качестве шины данных, по которой байт из внешней памяти программ вводится в ОМЭВМ.

Функциональная схема включения ОМЭВМ МК51 с ВПП показана на рис.13.

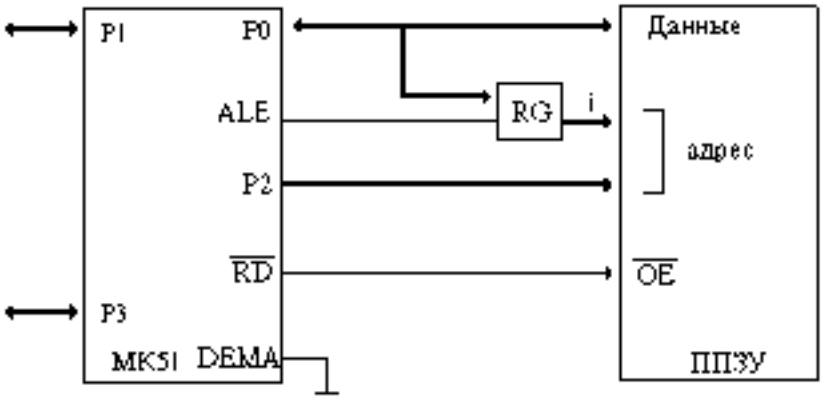


Рис.13. Функциональная схема включения ОМЭВМ МК51 с ВПП

Порт P0 работает как мультиплексированная шина адрес/данные: выдает младший байт счетчика команд, а затем переходит в высокоимпедансное состояние и ожидает прихода байта из ППЗУ программ. Когда младший байт адреса находится на выходах порта P0, сигнал ALE защелкивает его в адресном режиме RG. Старший байт адреса находится на выходах порта P2 в течение всего времени обращения к ППЗУ.

Сигнал XOR(PME) разрешает выборку байта из ППЗУ, после чего выбранный байт поступает на порт P0 МК51 и вводится в ОМЭВМ.

Диаграммы, показывающие формирование соответствующих сигналов при работе ОМЭВМ с ВПП, приведены на рис.14.

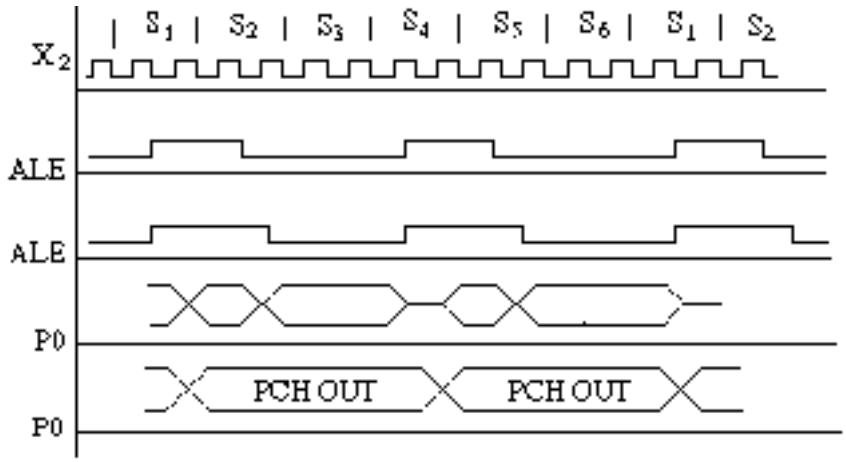


Рис.14. Диаграммы, показывающие формирование соответствующих сигналов при работе ОМЭВМ с ВПП

На рис.14. использованы следующие обозначения:

- PCL OUT - выдача младшего байта PC;

- PCH OUT - выдача старшего байта PC;

-INPUT - данные на шине P0.

Как видно из диаграмм, при работе с ВПП сигнал PME формируется дважды в каждом машинном цикле независимо от количества байт в команде. Если второй выбираемый байт в текущей команде не используется, он игнорируется ОМЭВМ. В дальнейшем, при переходе к выполнению следующей команды этот байт будет введен вторично.

Структура микроконтроллеров семейства MCS-x96.

Семейство микроконтроллеров MCS-x96 предназначено специально для построения высокопроизводительных контроллеров, реализующих алгоритмы управления исполнительными двигателями постоянного и переменного тока.

Обобщенная структурная схема микроконтроллера семейства MCS-x96 изображена на рис. 16. В его состав входят процессор, память, набор периферийных устройств и контроллер памяти. К микроконтроллеру можно подключить внешнюю память.

Процессор содержит арифметико-логическое устройство (ALU) и регистровое оперативное запоминающее устройство (RRAM). Отличительная особенность ALU - отсутствие регистра-аккумулятора. При выполнении арифметических и логических операций в качестве источника первого операнда и приемника результата может использоваться любой регистр в RRAM , при этом операнд и результат могут иметь разные адреса. ALU обращается к RRAM непосредственно или через контроллер памяти.

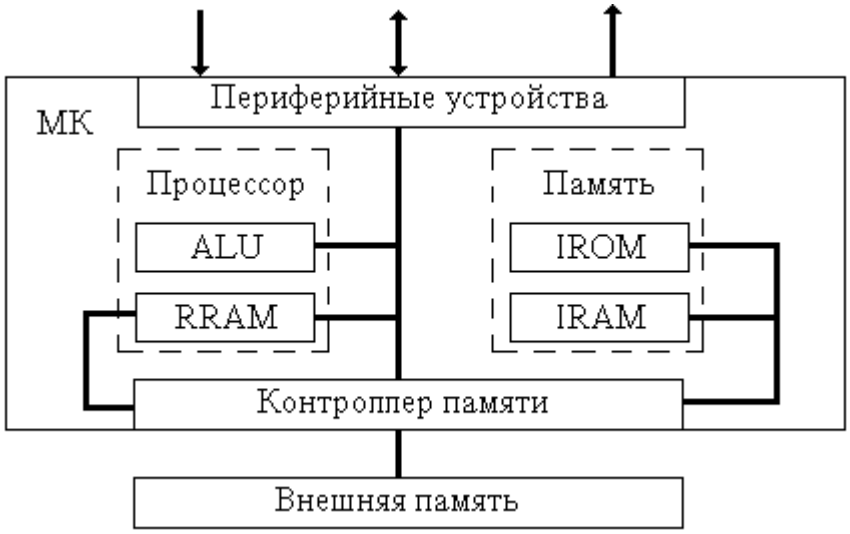


РИС.18. ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА МИКРОКОНТРОЛЛЕРА СЕМЕЙСТВА MCS-X96

Внутренняя (Internal) память микроконтроллера содержит постоянное (IROM) и оперативное (IRAM) запоминающие устройства. Первое из них используется для хранения команд программы, констант и специальных данных. Выпускаются микроконтроллеры, в которых IROM отсутствует (в этом случае его функции возлагают на запоминающее устройство, входящее в состав внешней памяти).

IRAM используется для хранения данных и команд программы. При этом открывается возможность модифицировать команды в процессе выполнения программы. В микроконтроллерах некоторых типов IRAM отсутствует.

Общее число адресов в адресном пространстве микроконтроллера равно 64К, а у микроконтрллеров подсемейства NT может быть увеличено до 1М.

Контроллер памяти управляет процессом обращения к внутренней и внешней памяти, при этом обеспечивается опережающая выборка кодов команд с образованием их очереди.

В таблице 3. указана емкость RRAM, IROM и IRAM микроконтроллеров разных типов, а также указаны интегрированные на кристалле микроконтроллера периферийные устройства. Буква X в обозначении типа заменяется цифрой 0, если микроконтроллер не имеет IROM, цифрой 3, если он имеет IROM масочного типа, и цифрой 7, если микроконтроллер содержит программируемое постоянное запоминающее устройство с возможностью стирания записи путем ультрафиолетового облучения (EPROM). При отсутствии окна в корпусе микросхемы возможно лишь однократное программирование IROM (OTPROM).

Таблица 3

МИКРОКОНТРОЛЛЕР	**8XC196KB**	**8XL196KD**	**8XC196NT**	**8XC196MC**	**8XC196MD**
RRAM БАЙТ	**232**	**1000**	**1000**	**488**	**488**

IROM КБАЙТ	8	32	32	16	16
IRAM БАЙТ	-	-	512	-	-
P	5	5	8	7	8
I/O	40	40	56	53	64
SLP	-	-	+	-	-
SP	+	+	+	-	-
SSIO	-	-	+	-	-
HSIO	+	+	-	-	-
EPA	-	-	+	+	+
ADC	8	8	4	13	14
PWM	1	3	-	2	2
WG	-	-	-	+	+
FG	-	-	-	-	+
PTS	-	+	+	+	+
OFD	-	-	+	-	-

Периферийные устройства микроконтроллеров семейства MCS-x96.

Расположенные на кристалле микроконтроллера периферийные устройства предназначены для приема и выдачи данных, ввода и вывода событий и аналоговых сигналов, обслуживания запросов прерывания и контроля правильности работы микроконтроллера. В таблице 3 приведены данные о наличии определенных периферийных устройств у микроконтроллеров разных типов и даны некоторые характеристики этих устройств.

Для приема и выдачи данных в параллельном коде используются параллельные порты. Микроконтроллеры разных типов имеют разное число таких портов, при этом разные порты могут иметь разное число разрядов. В графе P таблицы указано число параллельных портов у микроконтроллеров разных типов, а в графе I/O - суммарное число их разрядов.

Для обмена данными между микроконтроллером и центральным процессором в иерархической микропроцессорной системе предназначен процессорный порт (SLP - Slave Port), который подключают непосредственно к системной магистрали центрального процессора. В качестве SLP используется один из параллельных портов, который переводится в соответствующий режим путем программирования.

Для приема и выдачи данных в последовательном коде используется последовательный порт (SP). Он позволяет увеличивать число параллельных портов микроконтроллера путем подключения внешних сдвигающих регистров, обмениваться данными с другими устройствами по последовательному каналу связи (например, по интерфейсу RS - 232) и создавать простейшие локальные сети микроконтроллеров.

Для обмена данными в последовательном коде между двумя микроконтроллерами предназначен синхронный последовательный порт (SSIO). При этом могут использоваться две, три или четыре соединительные линии.

Все микроконтроллеры семейства MCS-x96 оснащены специальным периферийным устройством, предназначенным для приема и регистрации входных событий и формирования и выдачи выходных. Событием является изменение значения сигнала. Различают единичные события (замена нулевого значения единичным) и нулевые (замена единичного значения нулевым). Прием и регистрация входного события заключается в запоминании времени появления события определенного типа на определенном входе микроконтроллера. Это позволяет определять временные параметры входных импульсных последовательностей (период следования и длительность импульсов и т.д.).

При формировании и выдаче выходного события в определенное, заранее заданное время появляется событие определенного типа на определенном выходе микроконтроллера (внешнее выходное событие) или в определенной точке внутри микроконтроллера (внутреннее выходное событие). Это позволяет формировать импульсные последовательности заданной формы (например, широтно-модулированный сигнал) и реализовывать временные задержки.

Для работы с событиями в микроконтроллерах подсемейств КВ и КС используется блок быстрого ввода-вывода (HSIO), а в микроконтроллерах подсемейств KR, NT, MC - блок процессоров событий (EPA). В HSIO имеется определенное число входных и выходных каналов, в EPA - универсальные модули, каждый из которых может быть запрограммирован для работы с входными или выходными событиями.

Для ввода аналоговых сигналов используется многоканальный аналогово-цифровой преобразователь (ADC). Значение аналогового сигнала представляется восьми- или десятиразрядным двоичным кодом. Число каналов в преобразователе указано в графе ADC.

Микроконтроллеры подсемейств КВ, КС, MC имеют широтно-импульсный модулятор (PWM) с программируемым значением скважности импульсной последовательности. Использование этого модулятора совместно с внешним интегрирующим устройством позволяет осуществлять цифроаналоговое преобразование.

Микроконтроллеры подсемейства MC содержат трехфазный генератор (WG - Waveform Generator), который может быть использован для управления трехфазными электродвигателями переменного тока, вентильными электродвигателями постоянного тока, шаговыми двигателями, а также для преобразования постоянного тока в переменный.

В микроконтроллерах 8XC196MD имеется генератор меандра (FG-Frequency Generator) с программируемой длительностью импульсов и периодом их следования.

Все микроконтроллеры семейства MCS-x96 имеют систему управления прерываниями. С ее помощью осуществляется переход от выполнения текущей программы к выполнению прерывающей, составленной программистом и записанной в память микроконтроллера. Для обслуживания прерываний

микроконтроллеры подсемейств KC, KR, NT, MC имеют, кроме того, периферийный сервер транзакций (PTS - блок обслуживания групповых операций).

Обслуживание запроса прерывания с использованием PTS заключается в выполнении вместо очередной команды текущей программы определенной микропрограммы, заложенной в специальную память микроконтроллера при его изготовлении. Программист выбирает для обслуживания запроса прерывания подходящую микропрограмму из набора имеющихся и настраивает ее для выполнения в каждом конкретном случае путем записи группы кодов в RRAM.

В число операций, которые могут быть выполнены под управлением PTS при обслуживании запроса прерывания, входят одиночная и групповая пересылки и чтение результатов аналого-цифрового преобразования. Кроме того, микроконтроллеры подсемейства KC могут выполнять операции, связанные с регистрацией входных и формированием выходных событий, микроконтроллеры подсемейств KR, NT-операции, связанные с формированием широтно-модулированных сигналов, а подсемейства MC - операции, реализующие функции последовательного порта.

Для контроля правильности работы все микроконтроллеры оснащены сторожевым таймером, сбрасывающим их в исходное состояние при появлении сбоя в ходе программы. Микроконтроллеры подсемейств KR, NT, кроме того, содержат детектор падения частоты (OFD), который переводит их в состояние сброса при катастрофическом снижении тактовой частоты.

Лекция 10.

Преимущества регистр-регистровой архитектуры

При построении большинства микропроцессоров и микроконтроллеров (например, серии 8-разрядных микроконтроллеров MCS-51) используется традиционная, так называемая *аккумуляторная архитектура,* когда один из регистров специального назначения *аккумулятор* по умолчанию является источником одного из двух операндов и одновременно приемником результата операции, выполняемой в *арифметико-логическом устройстве* (АЛУ). Такой подход позволяет существенно уменьшить формат команды за счет адресации в поле операндов только одного из операндов.

Для выполнения какого-либо действия в процессорах «классической» аккумуляторной архитектуры в общем случае кроме собственно команды, пример, сложения, требуются по крайней мере еще две операции пересылки данных: загрузка первого операнда в аккумулятор и через него в один из портов арифметико-логического устройства (АЛУ), а также пересылка результата операции из аккумулятора по месту назначения уже после завершения операции (рис.17) при этом второй операнд извлекается из оперативной памяти непосредственно в процессе выполнения операции. Также в процессе

выполнения операции результат помещается в аккумулятор.

По мере развития микропроцессорной техники аккумуляторная архитектура стала тормозом в повышении производительности центрального процессора и уступила место *т*ак называемой *регистр-регистровой архитектуре.* Основным отличием регистр-регистровой архитектуры от аккумуляторной является то, что любые ячейки интегрированной на кристалл микроконтроллера сверхбыстродействующей оперативной памяти, *регистрового ОЗУ,* могут рассматриваться либо как операнды-источники, либо как аккумулятор для приема результата операции. При таком подходе любая из команд процессора может быть трехоперандной и необходимость в дополнительных операциях пересылки данных из аккумулятора и обратно отпадает. Естественно, что регистр-регистровая архитектура требует более сложного формата команды. Наряду с полем кода операции в формате команды будут присутствовать поля адресов операндов-источников и операнда-приемника.

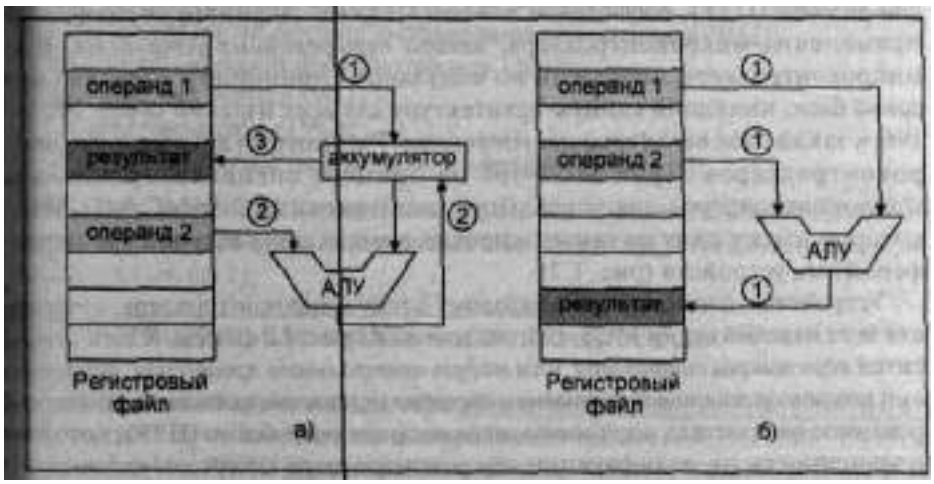


РИС. 17. СРАВНЕНИЕ АККУМУЛЯТОРНОЙ (А) И РЕГИСТР-РЕГИСТРОВОЙ АРХИТЕКТУРЫ (Б)

Таким образом, любая *ячейка регистрового файла,* внутренней сверхоперативной памяти, может выполнять функцию как источника данных, так и приемника данных.

Главные преимущества регистр-регистровой архитектуры:

• Отсутствует необходимость в предварительной загрузке одного из, операндов в аккумулятор перед выполнением операции.

• Содержимое источников данных в результате выполнения операции может оставаться неизменным, либо модернизироваться по желанию программиста. В последнем случае источник данных одновременно будет и приемником результата операции.

• Резко уменьшается число операций по пересылке данных и возрастает скорость вычислений.

• Появляется возможность расширения системы команд трехоперандными высокопроизводительными командами.

Совокупность перечисленных выше факторов вместе с главным преимуществом - возможностью выполнения операций непосредственно над 16-разрядными операндами, приводит к повышению производительности 16-разрядных микроконтроллеров *в несколько раз* по сравнению с 8-разрядными контроллерами, работающими на тех же тактовых частотах.

Блок-схема микроконтроллера MCS-196.

Микроконтроллеры семейства MCS-196 являются однокристальными микроЭВМ с интеграцией на кристалл центрального процессора, оперативной памяти (ОЗУ), постоянной памяти (ПЗУ) и заданного спецификой применения микроконтроллера, набора периферийных устройств. Все микроконтроллеры построены по модульному принципу и содержат базовый блок, имеющий единую архитектуру для всех изделий серии MCS-196, а также блок периферийных устройств. Рассмотрим архитектуру микроконтроллеров серии MCS-196 на примере специализированных микроконтроллеров для управления двигателями 8xC196MC/MD/MH. которые имеют одну из самых широких номенклатур встроенных периферийных устройств (рис. 18).

Устройства, относящиеся к базовому блоку микроконтроллера, общему для всех изделий серии MCS-196, выделены на рис. 18 фоном. К ним относится ядро микроконтроллера или модуль центрального процессора, встроенный генератор тактовой частоты и система управления питанием, интегрированное на кристалл постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), которое в зависимости от модификации микроконтроллера может отсутствовать. контроллер прерываний (Interrupt Controller), а также сервер периферийных транзакций (PTS) — специализированный контроллер прерываний, обеспечивающий быстрый обмен данными между периферийными устройствами и памятью практически без участия центрального процессора.

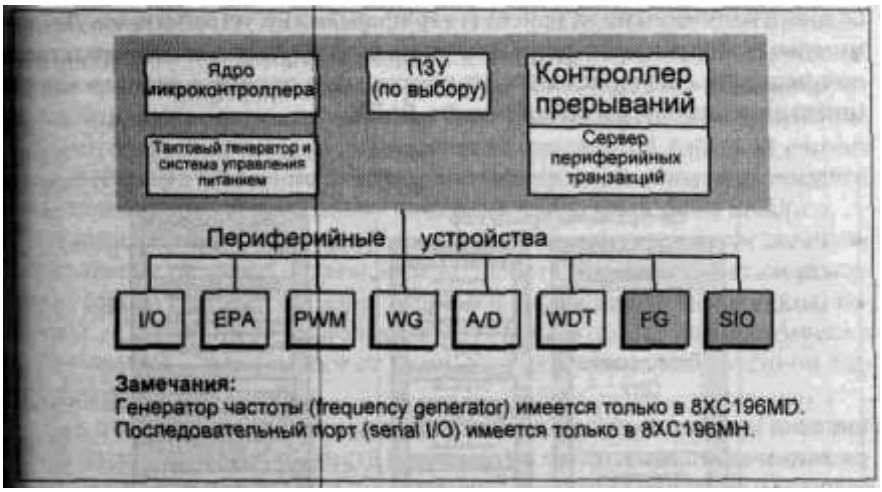


Рис. 18. Типовая архитектура микроконтроллеров семейства MCS-196 на примере микроконтроллеров для управления двигателями 8xC196MC/MD/MH.

В набор интегрированных на кристалл периферийных устройств для микроконтроллеров 8xC196MC/MD/MH входят:

порты ввода/вывода (I/O);

процессор событий (EPA);

генератор широтно-импульсных сигналов (PWM);

многоканальный генератор периодических сигналов (WG);

аналого-цифровой преобразователь (A/D);

сторожевой таймер (WDT);

генератор частоты (FG1;

последовательные порты ввода/вывода данных (SIO).

Набор встроенных периферийных устройств меняется в зависимости от типа микроконтроллера и определяет область его преимущественного применения.

Модуль центрального процессора. *Модуль центрального процессора* обеспечивает выполнение программы пользователя и состоит из *центрального процессора* (ЦПУ) Central Processing Unit (CPU) и *контроллера памяти* Memory Controller (рис. 19). В состав центрального процессора входят *регистровый файл* Register File и *регистровое арифметико-логическое устройство* (Register Arithmetic-Logic Unit) или сокращенно РАЛУ (RALU).

Внутренняя 16-разрядн4я шина связывает центральный процессор с контроллером памяти и *контроллером прерываний* (interrupt controller), а также со всеми встроенными на кристалл периферийными устройствами. Дополнительная внутренняя 8-разрядная шина используется для непосредственной передачи байтов команды из контроллера памяти в *регистр команд* (instruction register), расположенный в РАЛУ.

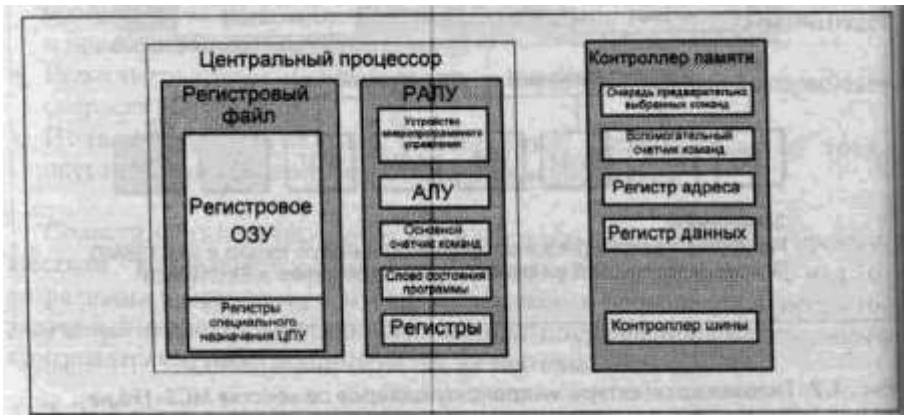


РИС. 19. СТРУКТУРА МОДУЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА

В состав центрального процессора входит *устройство микропрограммного управления* (microcode engine), предназначенное для приема от контроллера памяти кода очередной команды, *дешифрации кода* и генерации последовательности управляющих команд, подаваемых на регистровое арифметико-логическое устройство, и необходимых для выполнения операций над байтами, словами и длинными словами, расположенными в 256-байтовом *нижнем регистровом файле.* Использование механизма адресации операндов через *вертикальное окно* в нижнем регистровом файле, позволяет выполнять в РАЛУ также и операции с данными, расположенными в верхнем регистровом файле, а в новейшей серии микроконтроллеров MCS-296 — даже во внешней памяти.

Центральный процессор связывается с внутренней кодовой и внешней памятью (программ и данных) через *контроллер памяти.* Исключение составляет регистровый файл, доступ к которому обеспечивается непосредственно. В состав контроллера памяти входят несколько устройств: *вспомогательный счетчик команд* (Slave PC), 4-байтовая *очередь* из предварительно выбранных из памяти и готовых для выполнения кодов команд (Queue), *контроллер шины* (Bus Controller), *регистры адреса* (Adress Register) и *данных* (Data Register).

Запрос на доступ к памяти может поступить как от центрального процессора при выполнении текущей команды, например, для получения операнда из внешней памяти по косвенному адресу, расположенному в одном из регистров-слов внутреннего ОЗУ, так и от диспетчера очереди предварительно выбранных кодов команд. Механизм предварительной выборки команд существенно повышает производительность центрального процессора так как к моменту завершения выполнения текущей команды следующая команда уже считана из памяти и готова для немедленного выполнения. Центральный процессор получает коды команд из 4-байтовой *очереди команд* (Prefetch Queue по специальной 8-разрядной шине. Код текущей исполняемой инструкции всегда находится в *регистре команд* РАЛУ. За выполнение программы пользователя в правильной последовательности отвечает *основной счетчик команд* (Master Program Counter), содержимое которого указывает на адрес очередной, подлежащей выполнению команды. Содержимое основного счетчика команд автоматически увеличивается в зависимости от длины текущей команды встроенной схемы инкрементирования.

Как отмечено выше для ускорения выборки кодов команд из внешней или внутренней кодовой памяти используется *вспомогательный счетчик команд* (Slave PC), содержимое которого задает адрес команды, подлежащей выборке из памяти. Выбранная команда поступает в очередь на выполнение. Как только очередная команда считывается из очереди и передается на дешифрирование в устройство микропрограммного управления центрального процессора, диспетчер очереди формирует запрос в *контроллер шины Bu*s Controller) на считывание очередной команды. Контроллер шины входит в состав контроллера памяти и обеспечивает формирование необходимых управляющих сигналов как для считывания данных из внешней, внутренней памяти или внешнего периферийного устройства, так и для записи данных во внешнее ОЗУ или в периферийное устройство. Таким образом, контроллер шины обеспечивает считывание кодов машинных команд и запись/считывание данных. Запрос на считывание очередной инструкции поступает от диспетчера очереди, а запрос на запись/считывание данных (операндов) - от центрального процессора. Запрос от диспетчера очереди имеет более высокий приоритет.

Если линейная последовательность выполнения команд программы нарушается, например, вследствие выполнения команды условного или безусловного перехода или вызова подпрограммы, значение вспомогательного счетчика команд перезагружается текущим значением основного счетчика команд и очередь ранее выбранных команд аннулируется (очищается). Перезагрузка вспомогательного счетчика команд и извлечение первого байта

кода инструкции из памяти занимает 4 машинных такта.

Замечание. Если при отладке микропроцессорной системы Вы пользуетесь логическим анализатором, то имейте в виду, что команды из памяти выбираются с опережением. В данный момент выполняется команда, которая уже была считана ранее

Регистровое АЛУ имеет достаточно сложную внутреннюю структуру. В его состав помимо собственно 16-разрядного арифметико-логического устройства, регистра команд и устройства микропрограммного управления входят несколько вспомогательных регистров:

• Регистры старшего и младшего слова, предназначенные для использования в командах с 32-разрядными операндами в качестве регистров временного хранения данных. Они имеют собственные устройства сдвига, что ускоряет выполнение команд сдвига, нормализации, умножения и деления.

• Регистр второго операнда АЛУ, используемый в двухоперандных командах. в частности, для хранения множителя или делителя в операциях умножения, деления, соответственно.

• 6-разрядный счетчик числа циклов для организации сдвига операнда на заданное число разрядов со схемой автоматического декрементирования.

• Регистр селектирования заданного бита, который позволяет автоматически генерировать необходимую маску при выполнении команд тестирования бита по номеру бита, указанному в команде.

• Регистры констант (0, 1, 2), необходимых для ускорения типовых операций в АЛУ.

После завершения любой операции в АЛУ результат анализируется и соответствующие *признаки результата* (нуля, переноса, переполнения и т.д.) выставляются в *слове состояния программы* Program Status Ward (PSW). Признаки результата операции используются в командах условной передачи управления для организации ветвлений в программе.

Регистровый файл

Различные типы микроконтроллеров отличаются количеством ячеек памяти в регистровом файле, так называемом *регистровом* ОЗУ (РОЗУ). Естественно, что чем больше объем сверхоперативной регистровой памяти, тем более сложные вычисления и с большим быстродействием могут быть организованы в микропроцессорной системе на базе данного микроконтроллера.

Первые 256 ячеек регистрового файла имеют короткие байтовые адреса и относятся к *нижнему регистровому файлу,* а все остальные — 16-разрядные адреса и относятся к *верхнему регистровому файлу.* Наибольшим быстродействием обладают команды с прямой регистровой адресацией операндов в нижнем регистровом файле. При этом используются байтовые адресные поля и команды имеют предельно короткий формат и наименьшее время выполнения. Для доступа к операндам за пределами нижнего

регистрового файла (в том числе и к внешней памяти) используются специальные способы адресации, в частности косвенная, базово-индексная, а также адресация через специальные вертикальные окна.

Младшие 24 байта нижнего регистрового файла относятся к *регистрам специального назначения центрального процессора* (CPU special-function registers - SFRs). Здесь расположен также *указатель стека* (Stack Pointer SP). Вся остальная область регистрового ОЗУ, в том числе область верхнего регистрового файла, является оперативной памятью общего назначения и может использоваться программистом по своему усмотрению. Доступ производится к байтам, словам или двойным словам. Набор регистров специального назначения отличается в микроконтроллерах разных типов. Эти регистры позволяют управлять системой прерываний, селектировать вертикальные окна и выполнять целый ряд дополнительных функций.

Особенность организация памяти микроконтроллеров MCS-196

Типичная схема организации памяти 16-разрядных микроконтроллеров Intel на примере 8XC196KC и 8XC196KD приведена на рис. 20.

Нижняя область встроенного регистрового ОЗУ (OOOOH-0017H) жестко закреплена за *регистрами специального назначения центрального процессора (CPU SFRs),* через которые осуществляется управление системой прерываний, механизмом селектирования горизонтальных и вертикальных окон, а также встроенными периферийными устройствами (для некоторых типов микроконтроллеров).

Начиная с адреса 0018H располагается *область регистрового* 03У (Register RAM), объем которой различен для разных контроллеров и варьируется как правило, в диапазоне от 232 байт до 1 Кбайта.

Следующий сектор памяти объемом несколько меньше 8 Кбайт используется для адресации *внешней памяти и/или внешних периферийных устройств* В конце этой области памяти располагается еще одна область регистров специального назначения - *регистров специального назначения периферийных устройств* SFR (в данном случае регистров портов ввода/вывод 10PORT3 и 10PORT4). Размер этой области определяется объемом интегрированной на кристалл периферии и, например, у контроллеров 8XC196MC/MD/MH достигает 256 байт (1FEOH-1FFFH).

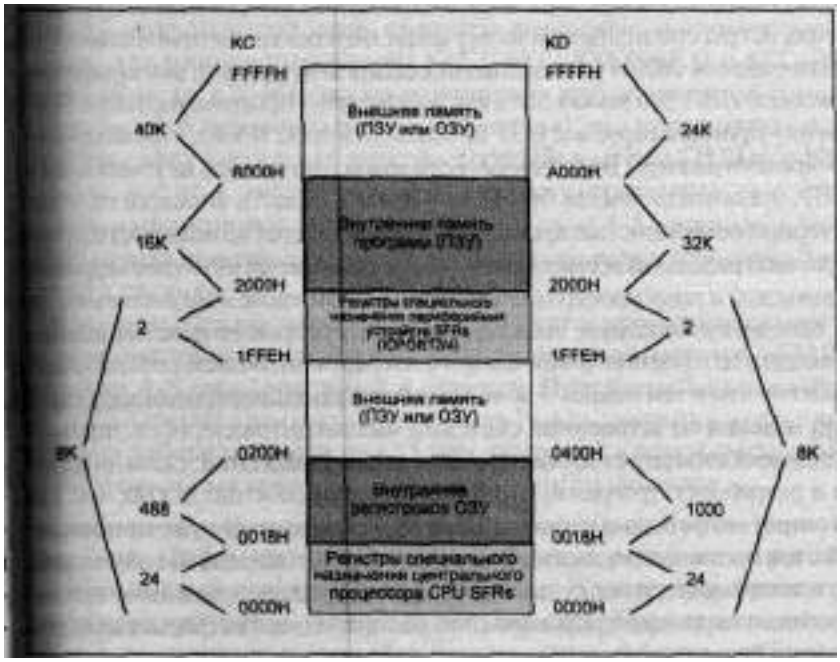


Рис 20. Карта распределения памяти для микроконтроллеров 8xC196KC/KD

Дело в том, что в микроконтроллерах с большим количеством интегрированных на кристалл периферийных устройств начальной области памяти 24 байта оказывается недостаточно для размещения всех регистров специального назначения периферийных устройства для их размещения отведена специальная область памяти. При этом в начальной области памяти остаются только регистры специального назначения центрального процессора.

Начиная с адреса 2000H располагается секция *внутреннего, интегрированного на кристалл ПЗУ.* Это может быть как однократно-программируемое ПЗУ так и масочно-программируемое ПЗУ объемом от 8 до 32 Кбайт, в зависимости от типа микроконтроллера. В том случае, если микроконтроллер не имеет встроенного ПЗУ, эта область памяти будет относиться к области внешней памяти.

Характерной особенностью процессоров Intel является возможность задать в начале рассматриваемой области памяти не только желаемую *конфигурацию микроконтроллера и микропроцессорной системы,* в том числе *цикл работы внешней шины,* но и дополнительные *коды секретности,* которые полностью исключают возможность несанкционированного чтения или записи содержимого внутренней памяти и тем самым — возможность несанкционированного тиражирования изделия со встроенной системой микроконтроллерного управления. Последнее обстоятельство обеспечивает защиту вложений, сделанных заказчиком в разработку программного продукта, что особенно важно, так как доля этих затрат непрерывно растает и по некоторым оценкам уже приближается к 80% стоимости всего проекта. В начальной области кодовой памяти располагаются также вектора переходов на подпрограммы обслуживания прерываний.

Первым адресом, по которому процессор обращается для выполнения программы пользователя, является адрес 2080H. Сюда передается управления и

после сброса системы по сигналу RESET. Расположенная вслед за внутренним ПЗУ память, вплоть до адреса FFFFH может рассматриваться как *внешняя память программ и/или данных и/или о*бласть адресации *внешних устройств ввода/вывода пользователя. Неко*торые самые современные микроконтроллеры, например, 8XC196NP, 8XC196NU, 80C296SA, предназначенные для высокопроизводительной обработки больших массивов информации в реальном времени имеют 'возможности *расширенной адресации памяти.* В этом случае *объем прямоадресуемой памяти* возрастает до 1 Мбайта, 6 Мбайт и даже до 16 Мбайт. При этом внутренняя шина адреса микроконтроллера вместо 16-разрядной становится 24-разрядной, а во вне выводятся дополнительно 4 или 8 старших разрядов адресной шины.

Возможности подключения внешней памяти и внешних устройств ввода/вывода

На стадии разработки и отладки микропроцессорной системы приходится использовать *внешнюю память программ* и только затем, когда алгоритмы и программное обеспечение полностью оттестированы и начинается серийный выпуск изделия , программное обеспечение «прошивается» в внутреннюю память микроконтроллера. Кроме того, в ряде применений требуется *внешняя память данных,* часто энергонезависимая, для хранения промежуточных массивов информации, результатов тестирования работоспособности оборудования, текущих настроек системы управления, циклограмм управления оборудованием в функции времени и т.д.

В системах встроенного управления, где часто приходится изменять алгоритмы управления и программное обеспечение, единственной альтернативой оказывается применение в качестве внешней памяти программ так называемой *флэш-памяти.* Эта память, впервые анонсированная фирмой Intel в 1988 г., бурно развивается и на сегодняшний день сочетает в себе достоинства ОЗУ и ПЗУ, являясь энергонезависимой памятью с высокой плотностью хранения информации, высоким быстродействием, малым потреблением энергии, исключительной надежностью и помехоустойчивостью. Она допускает более 100 тысяч циклов перезаписи.

Вместе с тем, несмотря на большое количество интегрированных на кристалл периферийных устройств, их часто оказывается недостаточно для решения конкретной задачи. В этом случае приходится дополнительно использовать *внешние периферийные устройства:* программируемые порты ввода/вывода данных, контроллеры прерываний, контроллеры последовательного ввода/вывода данных и т.д.

Встроенный контроллер внешней шины обеспечивает корректное подключение к микроконтроллеру внешней памяти и внешних периферийных устройств, а также формирование необходимых сигналов управления ими. Большинство микроконтроллеров MCS-196 имеют *мультиплицированную шину* адреса/данных, а самые совершенные из них могут работать и с *мультиплицированной шиной адреса/данных,* что повышает

производительность системы и упрощает интерфейс с внешней памятью и периферией.

В зависимости от разрядности используемой внешней памяти и периферии шина может работать в нескольких режимах:

Стандартном — как 16-разрядная мультиплицированная шина (вся внешняя память и периферия 16-разрядные). *8-разрядном* — когда вся внешняя память и периферия 8-разрядные. *Динамически переключаемом* между 8- и 16-разрядным режимами в зависимости от типа внешнего устройства, к которому в данный момент происходит обращение.

Кроме того, наличие специального входа готовности Ready допускает расширение сигналов чтения RD# и записи WR# для подключения медленно-действующей памяти и устройств ввода/вывода (например, жидкокристаллического дисплея). Более того, изменяя программно *байты конфигурации микроконтроллера,* можно задать требуемое число тактов ожидания для оптимального сопряжения микроконтроллера с внешними устройствами.

Лекция 11.

Применение микропроцессоров в приводах мехатронных систем. Примеры МП приводов современных систем.

Пример МК-системы на основе ОМЭВМ семейства МК51.

В данном разделе рассматривается пример построения МК-системы на основе ОМЭВМ МК51, который может быть использован для приобретения навыков программирования и отладки программ для МК51, а также рассматриваться в качестве макета реальной системы управления для отладки ее прикладного программного обеспечивания совместно с объектом управления в реальном масштабе времени.

Проектируемый отладочный модуль должен содержать следующие средства:

- постоянную память с программой Монитор, обеспечивающей управление всей системой и прежде всего взаимодействие с оператором;

- оперативную память для занесения программ, данных и создания буферов Монитора;

- простейшую клавиатуру для загрузки кодов и взаимодействия с оператором: 16 цифровых клавиш (цифры от 0 до F), 8 управляющих клавиш, в том числе и клавиша "сброс" - системного сброса;

- простой дисплей, обычно однострочный (на основе семисегментных индикаторов), который используется для визуального контроля вводимой информации и отображения данных;

- расширитель ввода-вывода на основе ППА КР580ВВ55.

Кроме того, отладочный модуль может иметь собственный источник

электропитания и (в некоторых случаях) дополнительное место на печатной плате ("слот") для монтажа пользовательских средств связи с объектом управления. Функциональная схема отладочного модуля, удовлетворяющего поставленным требованиям, приведена на рис.15. Как видно из приведенной схемы, память МКС имеет две физически- разделенные области для хранения данных и программ: ВПД и ВПП.

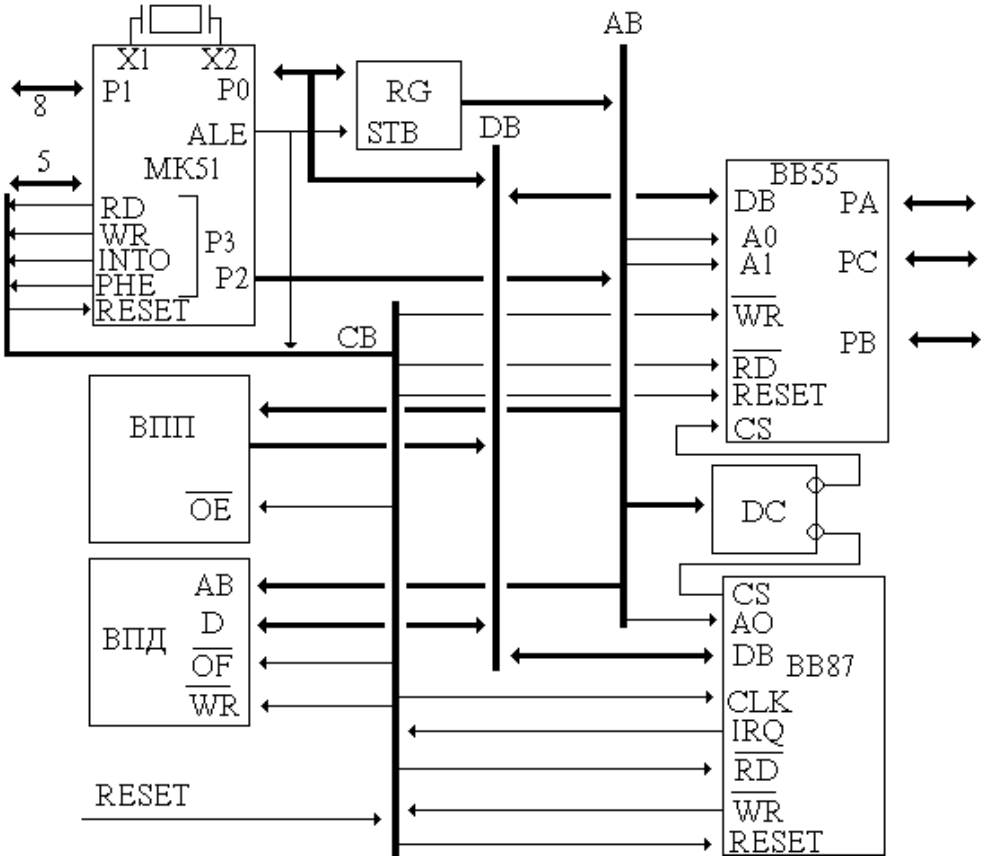


Рис.15. Функциональная схема отладочного модуля

Обращение к ним стробируется сигналами RD, WR и PSEN, соответственно. Программа Монитор расположена в ВПП. Адресное пространство ВПД включает в себя следующие области: буферную область Монитора; память данных; область, отведенную для подключения интерфейсных БИС (ППА, ККД).

Контроллер клавиатуры - дисплея (ККД) закрывает адресные пространства ВПД размером в 4 ячейки. Выбор кристалла ККД осуществляется дешифратором ДС, при установке соответствующих адресов (указанных 4-х ячеек).

Обмен данными МК с ККД осуществляется через порт P0. Для синхронизации работы ККД используется сигнал с выхода ALE. Выход сигнала прерывания из ККД (IRQ) соединен со входом запроса прерываний МК. Это позволяет достаточно просто обнаруживать факт нажатия клавиш, а также выполнять переход из программы пользователя в Монитор по прерыванию от клавиатуры.

Для управления внешним объектом от МК используется порт P1 и

оставшиеся не задействованными 5 линий порта Р3. Для сопряжения МК с объектом, имеющим большое число входов/выходов, можно расширить резидентную систему ввода/вывода, подключив к МК необходимое количество внешних портов. Такое расширение может быть выполнено двумя способами: с использованием стандартного расширителя ввода/вывода (КР580ВР43) или интерфейсных БИС (КР580ВВ55, КР580ВВ51). На приведенной схеме показан вариант расширения ввода/вывода с использованием параллельного периферийного адаптера (ППА) КР580ВВ55. Порты адаптера адресуются как ячейки ВПД, при этом младшие разряды (А0, А1) шины адреса используются для выбора порта, а старшие (А10 ÷ А3) с помощью дешифратора DC формируют сигнал выбора микросхемы ППА.

Ввод/вывод данных стробируется сигналами WR/RD - записи/чтения ВПД. Системный сброс МКС осуществляется нажатием на клавишу "сброс".

Унифицированная структура силовой части статических преобразователей частоты для широкого класса приводов переменного тока.

Современный этап технической революции характеризуется бурным развитием не только управляющей, но и силовой электроники. успехи которой позволяют по новому взглянуть на ряд проблем, которые раньше не решались либо ввиду непомерной стоимости проекта либо сложности его реализации на имеющейся элементной базе.

Известно, что в большинстве промышленно развитых стран около 70-80% всей вырабатываемой электроэнергии используется для преобразования в механическую работу с помощью различных электродвигателей. При этом до последнего времени наиболее массовым типом электропривода был нерегулируемый привод с асинхронными короткозамкнутыми двигателями. Это объясняется простотой двигателя и возможностью его непосредственного подключения к трехфазной сети переменного тока с помощью так называемых пускателей - простейшей коммутационной и защитной аппаратуры.

Применение нерегулируемых электроприводов сопровождается значительными непроизводительными затратами электроэнергии и в условиях резкого подорожания энергоносителей и, соответственно, электроэнергии, экономически невыгодно. Поэтому, доля регулируемых электроприводов, в том числе частотно-регулируемых электроприводов переменного тока постоянно растет. При этом в ряде стран приняты специальные государственные программы ускоренного развития энерго- и ресурсосберегающих технологий на базе экономичного регулируемого электропривода с широкими интерфейсными возможностями, дозволяющими одновременно с экономией электроэнергии решать и задачи комплексной автоматизации производства в целях оптимизации параметров технологических процессов и улучшения качества выпускаемой продукции.

Увеличение стоимости энергоносителей привело к еще одной проблеме - удорожанию цветных металлов и к увеличению стоим ости электрических машин традиционных конструкций. Эта проблема способствовала быстрому прогрессу электрических машин новых типов с малыми затратами меди и

алюминия («малообмоточных»): реактивных и индукторных, которые к тому же более технологичны, так как имеют не распределенные, а более простые в изготовлении сосредоточенные обмотки.

В отличие от асинхронных двигателей эти двигатели не могут работать непосредственно от сети переменного тока и требуют питания от *инвертора напряжения или тока* с регулируемой выходной частотой. Особенно эффективна работа таких машин в режиме *автокоммутации,* когда переключение фаз выполняется по сигналам установленного на вал двигателя (встроенного) датчика положения. Такой двигатель называется *вентильным* или *бесконтактным двигателем постоянного тока* и допускает управление по двум каналам: каналу напряжения на якоре и каналу угла коммутации. По прогнозам специалистов вентильные двигатели в начале следующего века вытеснят с рынка как традиционные коллекторные двигатели постоянного тока, так и асинхронные двигатели.

Большинство современных систем привода переменного тока со статическими преобразователями частоты строится по хорошо известной классической схеме: «Неуправляемый выпрямитель - Звено постоянного тока - Автономный инвертор напряжения с ШИМ-модуляцией - Двигатель» (рис.16). Для трехфазных двигателей (асинхронных, синхронных, вентильных или вентильных индукторных) инвертор напряжения выполняется по стандартной 6-и ключевой схеме. Для двигателей с другим числом фаз, например, для четырехфазных индукторных двигателей инвертор строится на базе полумостовых или мостовых схем.

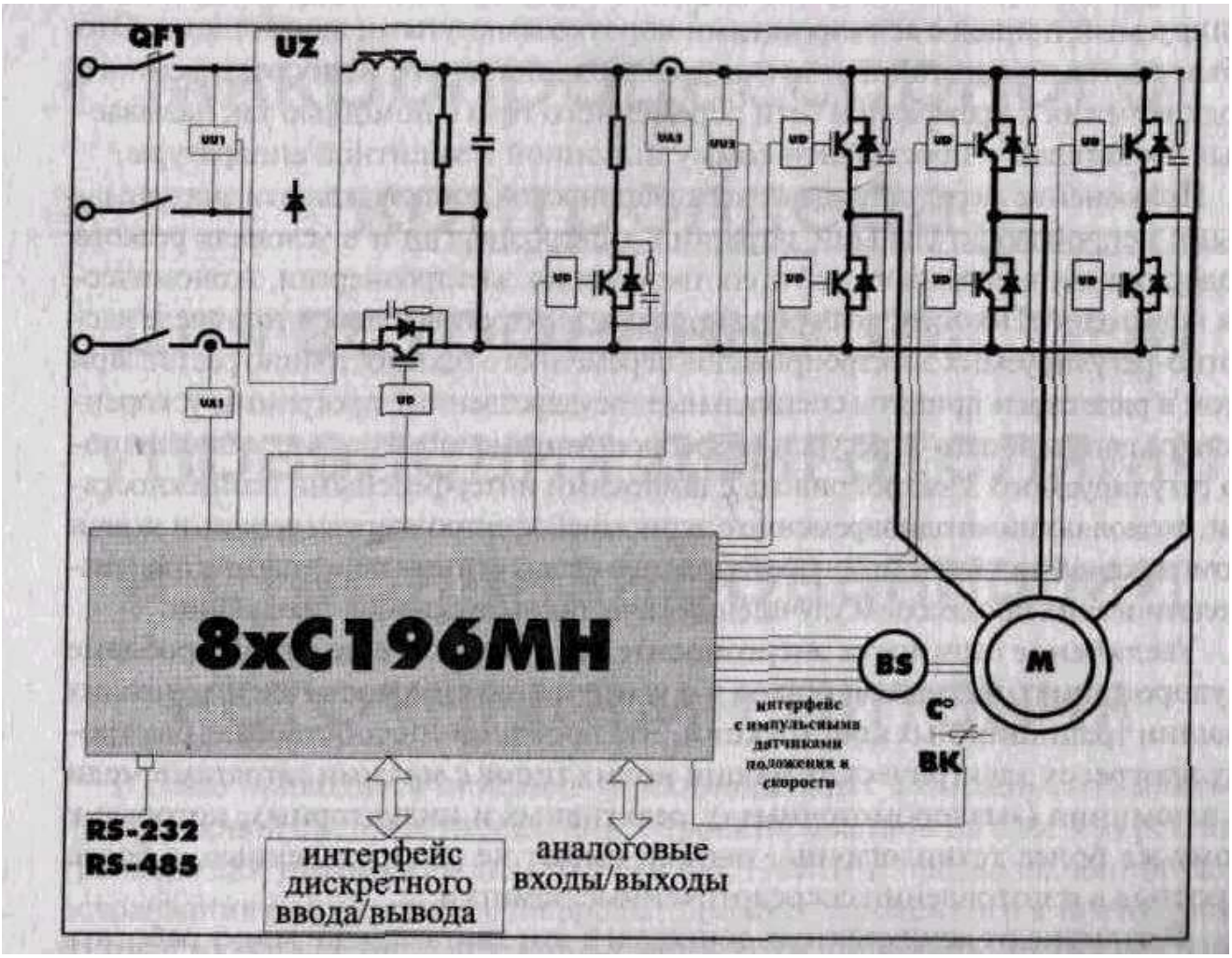


РИС. 16. ТИПОВАЯ СТРУКТУРА ПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Силовой преобразователь состоит из неуправляемого выпрямителя UZ, подключаемого к однофазной или трехфазной сети переменного тока и автономного инвертора напряжения, работающего, как правило, в режиме синусоидальной широтно-импульсной модуляции. К выходу инвертора подключен двигатель М (асинхронный или вентильный постоянного тока). В последнем случае на вал двигателя дополнительно устанавливается датчик положения BS.

Инвертор может быть построен с использованием *биполярных транзисторов с изолированным затвором* IGBT. В широком диапазоне токов и напряжений рядом фирм выпускаются как отдельные силовые транзисторы, так и стойки, моду; и и даже интеллектуальные модули, имеющие встроенные драйверы и элементы защиты, а также интерфейсы, допускающие непосредственное подключение микропроцессорных систем управления. Имеются также и другие необходимые для построения привода компоненты: электролитические конденсаторы на высокие напряжения и токи, диодные модули для построения выпрямителей и т.д.

Мощная, встроенная в преобразователь микропроцессорная система управления должна выполнять функции не только прямого цифрового управления инвертором напряжения, но и всеми дополнительными элементами преобразователя, а именно:

• Цепью возбуждения для синхронных и вентильных двигателей с независимым контуром возбуждения (который физически может располагаться как на роторе, так и на статоре).

• Цепью зашиты преобразователя от перенапряжений при рекуперации энергии (путем управляемого «слива» энергии в дополнительный балластный резистор) для приводов с активной нагрузкой на валу или приводов с высокими требованиями по динамике переходных процессов.

• Цепью заряда батареи конденсаторов в контуре постоянного тока при включении преобразователя в работу.

• Цепью питания электромагнитного тормоза (если он необходим).

Кроме того, встроенная система микропроцессорного управления должна напрямую обрабатывать сигналы ряда датчиков обратных связей, среди которых типовыми являются датчики напряжения и тока в цепи постоянного тока, тока возбуждения двигателя, температуры двигателя и (или) преобразователя, а также датчики положения ротора различных типов (на базе чувствительных элементов Холла, оптических импульсных датчиков положения и т.д.), необходимые для выполнения функций автокоммутации в приводах с вентильными двигателями. Датчики положения или скорости, например, импульсные, могут потребоваться также в приводах с асинхронными двигателями целях более точной компенсации скольжения в функции нагрузки для расширения диапазона регулирования. Таким образом, встроенная микропроцессорная система управления должна иметь развитый интерфейс как с источниками аналоговых сигналов, так и с источниками импульсных сигналов.

Отметим, что современная встроенная система управления преобразователем частоты не будет конкурентоспособной без интерфейса с системами более высокого уровня управления (последовательного интерфейса RS-232 или 485), а также интерфейса с пультом оперативного управления, предназначенным для организации интерактивного взаимодействия с оператором для настройки параметров преобразователя, выбора нужного режима работы, наблюдения за координатами привода и технологическими переменными и тJ.

Сотни различных фирм, среди них такие известные как ABB, Siemens, Alien Bradley, Dan bss и др., выпускают преобразователи частоты и комплектные электропривода на их основе в диапазоне мощностей от 100 ВА до 100 кВА, работающие с высоким коэффициентом полезного действия до 96% и коэффициентом мощности до 0.9.

Серьезный научный потенциал, накопленный в России в области теории автоматического управления и теории электропривода, теории синхронных, шаговых и вентильных двигателей, вместе с доступностью современных микроэлектронных компонент (как силовых, так и управляющих), позволяет быстро выполнять необходимые разработки и запускать в производство отечественные серии преобразователей, основные технические характеристики которых соответствуют мировому уровню.

Приведем результаты проектирования универсального микропроцессорного контроллера для систем встроенного управления широкой гаммой приводов переменного тока со статическими преобразователями частоты, а также стабилизированными источниками питания.

Универсальный контроллер для встроенных применений

На рис. 17. показана блок-схема системы управления для использования в частотно-регулируемых электроприводах с асинхронными, синхронными, вентильными и шаговыми двигателями, а также в системах вторичного стабилизированного питания. Диапазон применений системы управления широк: от приводов насосов-дозаторов жидких сред до двухпроцессорных систем векторного управления приводами стержней ядерных реакторов.

При проектировании система управления была принята концепция совмещения функций прямого цифрового управления элементами преобразователя частоты и технологическими переменными, значение которых изменяется при регулировании скорости привода. Таким образом, в систему непосредственного управления встроены функции промышленного программируемого контроллера средней производительности, реализующего заданный алгоритм управления технологическим процессом (ПИД-регулятор). Такой подход позволяет отказаться от дополнительных устройств, создавая своеобразные узлы автоматизации, способные самостоятельно управлять как двигателями, так и технологическими переменными (давлением, расходом, подачей и т.д.).

Концепция интеллектуальных распределенных систем управления с каждым годом завоевывает все больше сторонников. Это связано с общей тенденцией переноса все больших вычислительных ресурсов непосредственно к месту, где установлено исполнительное устройство и соответствующий рабочий орган.

В состав системы управления входят следующие изделия.

• Одноплатный универсальный контроллер (в формате Е2).

• Пульт оперативного управления с двухстрочным жидкокристаллическим дисплеем и клавиатуре ft 4x4, выпускаемый как в виде встраиваемого изделия, так и виде автономного изделия, подключаемого к контроллеру плоским кабелем.

• Интерфейсная плата релейного ввода/вывода дискретных сигналов «сухим» контактом (8 входов и 8 выходов).

• Интерфейсная плата ввода/вывода импульсных сигналов, обеспечивающая сопряжение с 2-,3 -, 4-, 6-фазными датчиками положения, а также ввод реперных сигналов идентификации начальной позиции. Для работы контроллера необходим внешний источник питания 5 В (1А). Встроенная схема мониторинга питания обеспечивает постоянный контроль уровня внешнего питания и формирование запроса на прерывание процессора при раннем обнаружении падения напряжения ниже допустимого уровня.

В качестве центрального процессора выбран один из самых современных и

высокопроизводительных 16-разрядных микроконтроллеров для управления двигателями Inte 18xC196MH, обеспечивающий функции прямого цифрового управления инверторами напряжения в режиме центрированной синусоидальной ШИМ-модуляции на частотах несущей до 20 кГц с возможностями программного регулирования «мертвого времени» для защиты инвертора от сквозного тока в диапазоне от 0 до 125 мкс.

Все выходы ШИМ-генератора могут дополнительно буферироваться преобразователями уровня TTL-MOS (опция), что позволяет применять в силовой части привода драйверы различных фирм, в том числе с изолированными источниками питания ключей. Допускается подключение внешних источников питания для преобразователей уровня с диапазоном напряжений от 5 до 24 В. Предусмотрены программно-аппаратные средства безопасной инициализации при подаче напряжения питания на контроллер или при сбросе системы, исключающие случайное формирование отпирающих управляющих сигналов на драйверы силовых ключей в течение переходных процессов в цепях питания.

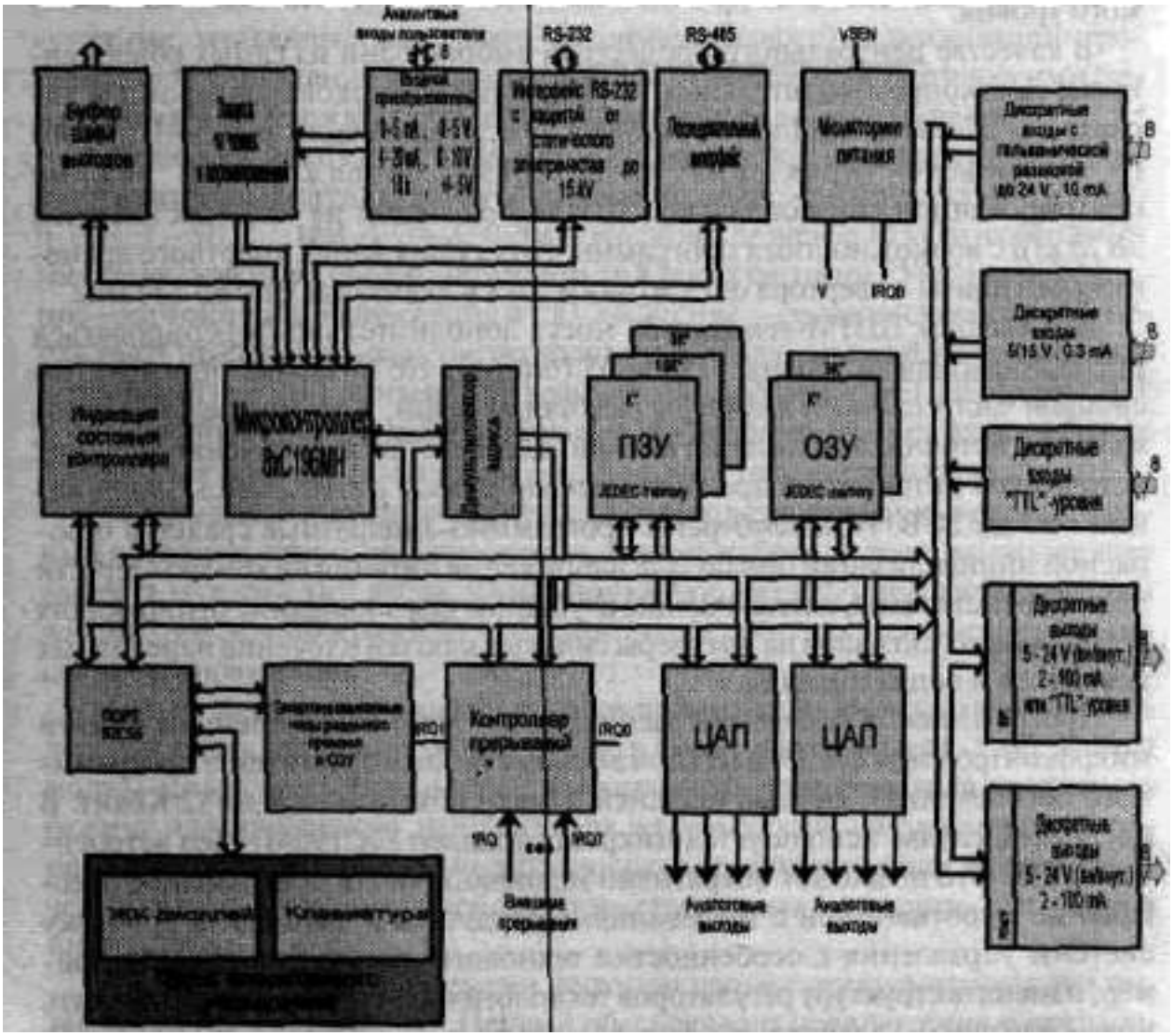


РИС. 17. БЛОК-СХЕМА УНИВЕРСАЛЬНОГО КОНТРОЛЛЕРА

Программное обеспечение располагается либо во внутренней памяти микроконтроллера 87С196МН (при поставке базового комплекта программного обеспечения), либо но внешней памяти объемом от 8 до 32 Кбайт. В последнем случае исполняется микроконтроллер 80С196МН без встроенного ПЗУ. Это позволяет оперативно модифицировать программное обеспечение в соответствии с требованиями заказчика и выполнять привязку системы управления к особенностям технологического процесса, например, изменять структуру регуляторов технологических переменных, вводить новые алгоритмы адаптивного управления и т.д.

Имеется также встроенная защита программного обеспечения от несанкционированного доступа.

Модуль памяти комплектуется различными типами внешней оперативной памяти:

• Статическим ОЗУ объемом от 8 до 32 Кбайт.

• Энергонезависимым ОЗУ объемом от 8 до 32 Кбайт с гарантированных сроком хранения данных до 10 лет.

Статическое ОЗУ используется исключительно для временного хранения промежуточных результатов, а также для ведения оперативного протокола с целью наблюдения за текущими значениями регулируемых переменных в приводе (мощность, ток и т.д.), а также за параметрами технологического процесса (давление в магистрали, расход, концентрация и т.д.).

Энергонезависимой ОЗУ используется для хранения параметров привода, преобразователя, Заводских уставок, а также заданных циклограмм управления технологическими переменными в функции времени (часовые, суточные, недельные, месячные, годовые циклы). Для реализации программного управления координатами привода или технологическими переменными в состав контроллера включены *часы реального времени.*

Контроллер имеет Унифицированный интерфейс с различными источниками аналоговых сигналов в большинстве промышленных стандартов: 0-5В, 0-10В, +/-5В,+/-10В,4-20мА,0-5мА, внешний резистор 10 кОм и обеспечивает подключение в общей сложности до 8 таких сигналов (5 из них внутренние - датчики тока, напряжения и т.д., 3 внешние, — задание скорости, обратная связь по скорости, Задание технологической переменной, обратная связь по технологической переменной, возмущающее воздействие). Точность АЦП составит 10 разрядов, время одного преобразования 10 мкс, максимальная абсолютная погрешность не более +/-3 единиц младшего разряда.

Модуль ввода аналоговых сигналов имеет встроенный высокостабильный источник опорного напряжения, а также наборное поле, позволяющее выбрать нужный тип входа. Функциональное назначение каждого из аналоговых входов программно настраивается в процессе конфигурирования системы управления.

Модуль вывода аналоговых сигналов позволяет выводить во вне до 8 аналоговых сигналов с разрешением 1/256 в диапазоне 0-5 В или -5,+5 В. Этот модуль может быть использован для управления шаговыми двигателями в

режиме электрического дробления шага (до 4-х осей одновременно от одного контроллера) или для индикации скорости привода или текущих значений технологических переменных на стрелочных или других аналоговых индикаторах.

Для сопряжения с системами верхнего уровня предусмотрены два интерфейса RS-232 и RS-485. Первый обеспечивает подключение к преобразователю любого компьютера или промконтроллера, в том числе «на ходу».

Эта возможность позволяет выполнить настройку преобразователя или диагностику оборудования с использованием портативных компьютеров в качестве переносных пультов оперативного управления. Второй позволяет подключить к одному каналу связи до 32-х преобразователей частоты и организовать не только управление преобразователями в реальном времени от системы верхнего уровня, но и сбор информации о состоянии привода и локально-контролируемого технологического оборудования.

Последовательные каналы связи дополнительно могут использоваться для подключения удаленных датчиков технологических переменных: температуры, уровня жидкости и т.д.

Контроллер имеет мощную встроенную систему ввода/вывода дискретных сигналов. что позволяет подключать кнопочные станции, командо-аппараты, датчики состояния технологического оборудования и т.д., а также выводить управляющие воздействия дискретного типа и информационные сигналы о состоянии привода.

Входные дискретные сигналы могут быть трех типов: ТТЛ-уровня, 15В и 24 В. Для входных сигналов напряжением 15 В предусмотрена дополнительная защита от помех триггерами Шмитта. Дискретные входы 24 В имеют встроенную гальваническую развязку. Выходные дискретные сигналы могут быть нескольких типов: ТТЛ, с регулируемым выходным напряжением в диапазоне от 5 до 24 В за счет подсоединения внешнего источника питания.

Если по условиям эксплуатации необходимо использовать релейные входы или выходы, те к контроллеру подключается дополнительная интерфейсная плата на 8 входов, 8 выходов.

Система прерываний микроконтроллера 8xC196MH расширена с помощью дополнительной БИС контроллера прерываний, что позволяет вводить по прерываниям ряд дискретных сигналов с датчиков, например, теплового перегрева инвертора, двигателя и т.д.

Возможности системы управления позволяют вводить (и выводить) также импульсные сигналы, например с импульсных датчиков положения, причем с автоматической идентификацией процессором скорости двигателя в широком диапазоне (вплоть до 10000 об/мин.). Измерение скорости производится с автоматическим программным переключением диапазонов с целью получения максимальной точности в каждом диапазоне. Это позволяет применять частотно-регулируемые асинхронные привода в точных замкнутых системах управления. Имеется также ряд дополнительных возможностей по организации

синхронной работы нескольких приводов, по организации управления группой шаговых двигателей (до четырех осей) с автоматическим контролем выпадения двигателей из синхронизма.

Набор программного обеспечения зависит от типа привода. Комплект программного обеспечения для асинхронного привода реализует функции автоматического регулирования выходного напряжения в функции текущей выходной частоты, задатчика интенсивности, блока ограничения резонансных частот, выбора заданного типа торможения, технологического регулятора и т.д. Разумеется реализованы и функции защиты двигателя и преобразователя: максимально-токовая, время-токовая, от сквозных токов, от обрыва и перекоса фаз, от недопустимого отклонения напряжения сети и другие.

В состав программного обеспечения входят драйверы дисплея и клавиатуры пульта оперативного управления, драйверы последовательных каналов связи, программе -монитор и другое системное программное обеспечение.

Выводы

• Рассматриваемая в качестве примера версия системы управления преобразователями частоты открывает богатейшие возможности по автоматизированной настройке параметров преобразователя в процессе пусконаладочных работ, по автоматической адаптации режима работы привода к условиям эксплуатации, по решению различных задач оптимального управления. Она сочетает в себе возможности качественного прямого цифрового управления инвертором с возможностями управления те отологическими переменными.

• Пользователь вместе с преобразователем получает и встроенный промконтроллер средней производительности, приобретая возможность создавать узлы локальной автоматизации, которые затем, при необходимости, можно легко подключить по каналу связи к системе управления более высокого уровня, с целью как удалённого управления, так и наблюдения за регулируемыми переменными и состоянием привода.

• Унифицированные интерфейсы позволяют использовать одну и ту же систему управление для приводов различных типов: постоянного тока, синхронных, шаговых, асинхронных и вентильных.

• Управляющие воздействия можно вводить через аналоговые входы, дискретные входы; или по одному из каналов последовательной связи. Гибкая система настройки конфигурации системы управления позволяет выполнять программную перенастройку функционального назначения входов системы управления оптимальным образом.

• Русифицированный дисплей пульта оперативного управления позволяет создавать дружественное программное обеспечение с интуитивно понятной мнемоникой. Возможно конфигурирование системы управления, настройка и местное управление с использованием портативного компьютера, подключенного к системе по последовательному каналу связи.

• При переходе к массовому производству изделий с встроенными системами управления аппаратная часть унифицированного контроллера может быть легко минимизирована в соответствии с требованиями конкретной задачи.

• Использование перспективных систем встроенного управления преобразователями частоты насосов холодного и горячего водоснабжения жилых и промышленных зданий позволяет экономить до 50% электроэнергии и до 15% воды. При этом срок окупаемости преобразователя не превышает одного года. В условиях начавшейся в России коммунальной реформы, актуальность работ в этом направлении не вызывает сомнений.

Лекция 12.

Мультипроцессорные системы управления. Транспьютеры - элементная база мультипроцессорных систем

Основные особенности транспьютеров

Концепция параллелизма давно привлекала внимание специалистов своими потенциальными возможностями повышения производительности и надежности вычислительных систем. В нашей стране с 60-х годов выполнялись теоретические, экспериментальные и промышленные разработки в этом направлении. Именно с подобными системами связывается в настоящее время перспектива дальнейшего наращивания производительности. Исторически первой промышленной разработкой, ориентированной на массово-параллельные системы стали транспьютеры.

Транспьютер - это микрокомпьютер с собственной внутренней памятью и линками (каналами) для соединения с другими транспьютерами. Термин "транспьютер", произошедший в результате объединения слов "транзистор" и "компьютер", отражает основную область его применения - массово-параллельные вычислительные системы, в которых он играет роль базового вычислительного элемента. Некоторые специалисты понимают термин "транспьютер" как название конкретного продукта фирмы Inmos, другие трактуют его как обобщенное наименование микропроцессоров со встроенными межпроцессорными интерфейсами. Используется также термин "транспьютеро-подобный микропроцессор", чтобы, с одной стороны, подчеркнуть, что речь идет не о продукте фирмы Inmos, а, с другой стороны, указать, что микропроцессор имеет встроенные линки для образования параллельных систем. Вполне возможно, что стремительное развитие микроэлектроники не позволит термину "транспьютер" устояться, и он будет поглощен более общим -микропроцессор, так как отличительный признак транспьютера - встроенные межпроцессорные интерфейсы - появятся в том или ином виде у всех микропроцессоров.

Первый транспьютер - Т414 - был представлен фирмой Inmos, Inc. (Бристоль, Великобритания) в 1983 г. Его основные характеристики:

• разрядность - 32 бит;

• объем внутренней памяти - 2 Кбайта;

• число коммуникационных каналов (линков)- 4;

• скорость обмена по линку - 5, 10, 20 Мбит/с;

• тактовая частота - внешняя - 5МГц, внутренняя - 15 МГц;

• производительность - 10 MIPS.

Широкую доступность и известность транспьютеры получили с 1985 г. Были выпущены модификации с большим объемом памяти (4 Кбайт) и более высокой тактовой частотой - семейство Т-4: Т424, Т425 - 20, 25 и 30 МГц, 16-разрядные модификации - семейство Т-2: Т212, Т222, транспьютеры со встроенным устройством выполнения операций с плавающей точкой - семейство Т-8: Т800, Т801, Т805. Производительность этих микропроцессоров достигает 30 MIPS и 4,3 MFLOPS. Выпускается ряд периферийных устройств транспьютерных семейств, к числу которых относятся микросхемы: М212 - контроллер НЖМД стандарта ST506, G412 - графический RGB-контроллер, С004 - программируемые 32-канальные коммутаторы и др.

Высокая степень "функциональной самостоятельности" транспьютера, простота интеграции и наличие периферийных устройств позволяют в короткие сроки создавать системы на их основе. Коммуникационные каналы транспьютера могут осуществлять обмен данными одновременно с вычислениями, практически не снижая производительности процессора. Благодаря этому качеству транспьютеров системы на их основе обладают хорошей масштабируемостью и высоким значением показателя эффективности - производительность/стоимость.

Архитектура и структура транспьютеров фирмы Inmos

Архитектура семейств Т-2, Т-4, Т-8

Транспьютеры относятся к классу RISC- процессоров. Система команд транспьютеров ориентирована на поддержку языка высокого уровня -ОККАМ (OCCAM). Это язык параллельного программирования, позволяющий задавать параллельные вычисления в соответствии с моделью взаимодействующих последовательных процессов (CSP). Программа на языке ОККАМ представляет собой совокупность асинхронных совместно протекающих взаимодействующих процессов, выполняющихся асинхронно и параллельно. Под процессом понимается ход исполнения программного кода некоторой программы или фрагмента программы. Взаимодействие между процессами реализуется путем обмена данными по принципу "рандеву". В транспьютере данная модель параллельных вычислений поддерживается благодаря наличию аппаратно-реализованного диспетчера, обеспечивающего выполнение параллельных процессов в режиме квантования времени. Причем количество одновременно выполняемых процессов не ограничено.

Мультипроцессорная система на базе транспьютеров представляет собой совокупность транспьютеров, соединенных линиями связи (непосредственно или через коммутатор).

Существенно упростить программирование мультипроцессорных ВС на базе транспьютеров позволяет тот факт, что одинаковая модель параллельных вычислений поддерживается как внутри отдельного транспьютера, так и в рамках мультитранспьютерной системы в целом. Благодаря этому программа, разрабатываемая для мультипроцессорной системы, может быть создана и отлажена на одном единственном процессоре, а затем перенесена на сеть транспьютеров без существенных преобразований. Исключение составляет ограничение числа каналов связи процесса с процессами, протекающими на другом транспьютере. Это ограничение преодолено в транспьютере Т-9000.

Обобщенная структура транспьютера Т800 приведена на рис. 76. На этом же рисунке показаны архитектурные регистры процессора, управляющие структуры процессов и распределение их рабочих областей памяти.

В зависимости от модели, транспьютер состоит из 32- или 16-разрядного центрального процессора, интерфейса внешней памяти, 2 или 4 дву-направленных каналов - линков, программируемого блока событий (Event), таймера, внутреннего ОЗУ емкостью 2 или 4 Кбайт, блока режимов работы линков, блока системных функций. Некоторые модели могут содержать 64-разрядное устройство операций с плавающей точкой и (или) интерфейсные схемы внешних устройств, такие как НЖМД, ЭЛТ, сетевой адаптер. (Контроллеры внешних устройств обычно выполняются на кристалле вместо двух линков).

Центральный процессор

32-разрядный центральный процессор транспьютера работает на тактовой частоте до 30 МГц, формируемой из опорной внешней тактовой частоты 5 МГц внутренней схемой умножения. Внутренняя структура центрального процессора показана на рис. 77.

Аппаратный планировщик (диспетчер) центрального процессора организует одновременное (в режиме разделения времени) выполнение нескольких процессов. Каждому процессу в момент его создания в адресном пространстве транспьютера выделяется выровненная по границе слова рабочая область памяти и устанавливается приоритет. В транспьютере реализована двухуровневая схема приоритетов: 0 - высокий приоритет процесса, 1 - низкий приоритет. Объединение адреса рабочей области и приоритета образует дескриптор процесса.

Центральный процессор содержит два регистра-таймера, для низко- и высокоприоритетных процессов. Высокоприоритетный регистр инкрими-нируется каждую 1 мкс, низкоприоритетный - каждые 64 мкс.

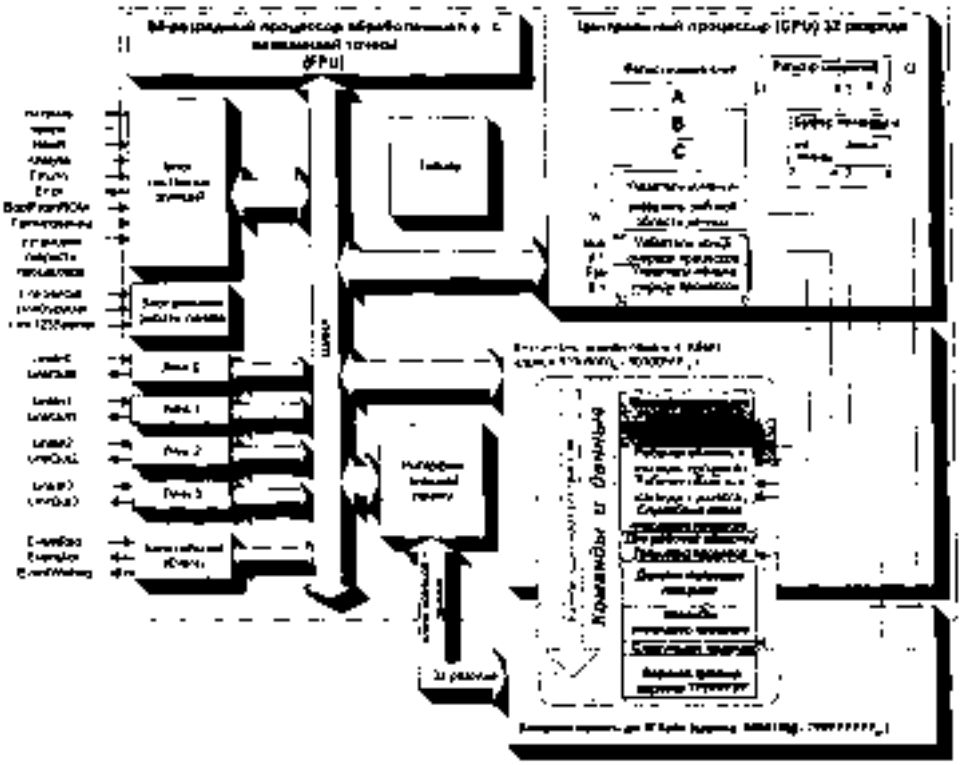


РИС. 76. СТРУКТУРА ТРАНСПЬЮТЕРА T800

Регистр W транспьютера указывает на рабочую область процесса, а в регистре указателе команды находится адрес следующей выполняемой команды.

Регистры общего назначения A, B, C, образуют регистровый стек ss память с дисциплиной доступа FIFO. АЛУ выполняет логические и арифметические операции над операндами, содержащимися в регистровом стеке. Операнды помещаются в стек через его вершину - регистр А. При загрузке данных в А его содержимое переносится в В, содержимое В в С, а содержимое последнего теряется. Результаты операций также формируются в регистре А, при этом содержимое регистра С "выталкивается" в регистр В и становится неопределенным.

Система команд транспьютера

Все команды транспьютера однобайтовые и выполняются за один такт процессора. Структура команды показана на рис. 76. Старшие 4 разряда -код команды, младшие *4* разряда используются для формирования операнда команды или кода команды в регистре операнда - О.

Операции, реализуемые командами транспьютера, подразделяются на первичные и вторичные. 13 наиболее употребительных первичных операций, такие, например, как сложение с константой со значением в диапазоне 0 -15, безусловный переход, загрузка (запись) слова и т.п. Еще 3 команды (мнемокоды pfix, nfix, opr) используются для реализации вторичных операций. Код вторичной операции формируется командами pfix, nfix и opr в регистре О, а операнды содержатся в регистрах.

Выполнение команд

Команды выбираются из памяти транспьютера и помещаются в буфер команд центрального процессора. За один такт выбирается 2 команды в Т-414 и 4 команды в Т-800.

Выполнение большинства команд осуществляется в три этапа:

1. Операнд команды помещается в младшие 4 разряда регистра операнда- О;

2. Выполняется операция, задаваемая кодом команды. Содержимое регистра О интерпретируется как операнд.

3. Очищается регистр операнда - О.

Исключение составляют команды pfix, nfix и opr.

Команда pfix на этапе 2 осуществляет сдвиг содержимого О на 4 разряда влево и не очищает регистр О на этапе 3. Команда nfix выполняется так же, как и pfix, но перед сдвигом О помещает туда арифметическое дополнение его содержимого.

Поскольку после выполнения команд pfix и nfix содержимое О не очищается, последовательность команд pfix и nfix позволяет формировать в регистре О операнды с разрядностью до 32. Требуемая последовательность команд минимальной длины формируется компилятором.

Команда opr интерпретирует содержимое О как код вторичной операции. В этом случае операнды содержатся в регистрах процессора. Код вторичной операции, таким образом, задается как операнд первичной операции opr и может иметь до 2^{32} различных значений. В существующих на сегодняшний день моделях транспьютеров используется около сотни вторичных операций.

Использование сопроцессора

В случае наличия у транспьютера встроенного сопроцессора, выполняющего операции с плавающей точкой, распознавание команд и передача их на выполнение осуществляются аппаратно в центральном процессоре, там же выполняется вычисление адреса операндов и их загрузка в регистры FPU.

Модуль операций с плавающей точкой, как показано на рис. 77, состоит из двух блоков: блока мантиссы и блока порядка со своим набором регистров (два регистровых стека). Все команды с плавающей точкой подразделяются на два класса: полностью самостоятельные команды, никак не влияющие на состояние центрального процессора, и команды, пересылающие результаты выполнения операции в центральный процессор.

После передачи команды на исполнение в сопроцессор центральный процессор продолжает выполнение потока команд, если это команда относится к первому классу, или ожидает получения результата, если это команда второго класса.

Распределение памяти транспьютера

Транспьютер может адресовать до 2^{32} байт (4 Гбайт). Особенностью транспьютера является начало адресов в области отрицательных значений. Младший адрес в дополнительном коде соответствует значению (80000000…).

Структурно (конструктивно) вся оперативная память подразделяется на внутрикристальную и внешнюю. Объем внутрикристальной памяти составляет 4 (2) Кбайт (в зависимости от модели транспьютера). Архитектурно (с точки зрения программиста) вся память транспьютера, как внешняя, так и внутрикристальная, равнодоступна и имеет единую адресацию. Внутрикристальной памяти соответствуют младшие адреса, а внешней памяти - старшие.

Поскольку внутрикристальная память имеет меньшее время доступа (один такт процессора), в нее обычно помещаются программистом часто используемые данные и подпрограммы. Пример распределения памяти показан на рис 76.

Несколько слов в младших адресах памяти используется для специальных целей: для слов состояния аппаратных каналов - линков, блока Event, регистров таймера, в качестве рабочих областей памяти диспетчера.

Диспетчеризация процессов

Каждый из процессов в конкретный момент времени может быть выполняемым, активным (готовым к выполнению в очереди соответствующего приоритета), ожидающим сигнала таймера (в очереди к таймеру соответствующего приоритета), ожидающим ввода-вывода.

Для выполняемого процесса регистр I содержит адрес следующей команды, регистр W содержит его дескриптор.

Для организации очереди процессов на выполнение (очередь активных процессов) в диспетчере используются пары регистров FptrO, BptrO, Fptrl, Bptrl, указывающие на начало и конец очереди высоко- и низкоприоритетных процессов соответственно. В качестве элементов очередей используются рабочие области процессов, содержащие помимо данных процесса, управляющую информацию, требующуюся для сохранения и восстановления состояния процессов на этапе диспетчеризации (в том числе ссылку на рабочую область следующего процесса в очереди).

Низкоприоритетные процессы выполняются в течение не более чем 32 периодов низкоприоритетного таймера, после чего процесс (если он еще способен к выполнению) помешается в конец очереди активных низкоприоритетных процессов, а диспетчер планирует выполнение следующего процесса. Сначала просматривается очередь высокоприоритетных процессов, затем - низкоприоритетных.

Высокоприоритетный процесс не прерывается и выполняется до тех пор, пока это возможно (до завершения или до момента ожидания ввода-вывода, сигнала таймера или сигнала внешнего события, выдаваемого блоком Event). Если высокоприоритетный процесс становится активным (например, получает сигнал таймера) в момент выполнения процесса с низким приоритетом, последний прерывается, его состояние сохраняется в области зарезервированных адресов памяти транспьютера и инициируется выполнение прервавшего высокоприоритетного процесса. После его выполнения

возобновляется прерванный низкоприоритетный процесс.

Ввод-вывод

Ввод-вывод для процессов в транспьютере организуется одинаковым образом как в случае использования аппаратных линков (внешний ввод-вывод), так и в случае использования виртуального линка (обмен между процессами одного транспьютера). В обмене всегда участвуют только два процесса: один вводит данные, другой выводит.

В момент выполнения команды описания канала и после завершения каждого обмена слово состояния канала (ССК) инициализируется константой Minint. Процесс, первым выполняющий команду обмена, приостанавливается и проверяется содержимое канала. Если оно Minint, то в ССК заносится дескриптор процесса, а в рабочую область процесса помещаются значение W и адрес передаваемых данных, после чего управление передается диспетчеру для планирования выполнения других процессов.

Если содержимое ССК не Minint, значит данный процесс "пришел" на "рандеву" вторым. В этом случае содержимое ССК - дескриптор процесса, используя который находятся данные в случае ввода или буфер для данных в случае вывода.

Обмен по линкам осуществляется аналогично, с той разницей, что **ССК** имеют фиксированные адреса в памяти 80000000 - 8000001C,g, и в процессе обмена данные не пересылаются между областями памяти, а передаются по линии связи в стартстопном режиме с квитированием байтов.

При выполнении ввода-вывода от центрального процессора требуется лишь инициализация обмена. По команде ввода-вывода вся требуемая информация об операции обмена - адрес и длина данных - помещается во внутренние регистры линка, после чего центральный процессор освобождается для дальнейших вычислений, а линк транспьютера самостоятельно управляет обменом данными.

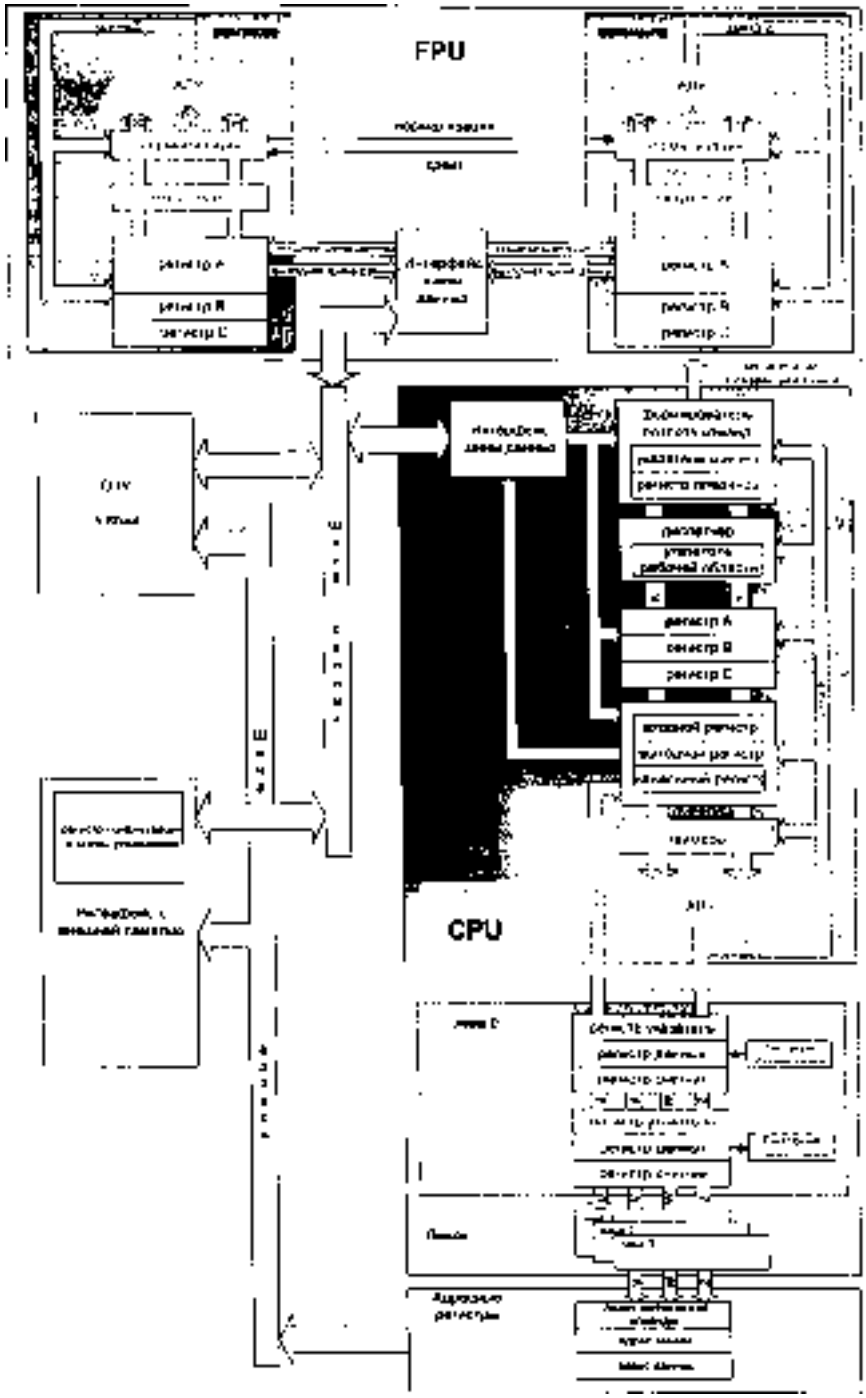


РИС. 77. ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ ТРАНСПЬЮТЕРА

Передача данных по линку

Все семейства транспьютеров Т-2 (Т-212, Т-222, Т-225), Т-4 (Т-414, Т-400, Т-425), Т-8 (Т-800, Т-801. Т-805) используют один и тот же протокол передачи данных по линкам. Взаимодействие между транспьютерами осуществляется посредством обмена сообщениями, состоящими из последовательности байтов. Данные передаются по одному проводу из пары проводов. По другому проводу пары передаются подтверждения приема каждого байта.

Байт передается в обрамлении служебных битов, начиная со стартового бита, далее следует управляющий бит, а затем 8 информационных битов и столовый бит. Таким образом, на 8 информационных битов приходится 3 управляющих,

поддерживающих протокол передачи. На рис. 78. показан пример передачи по линку.

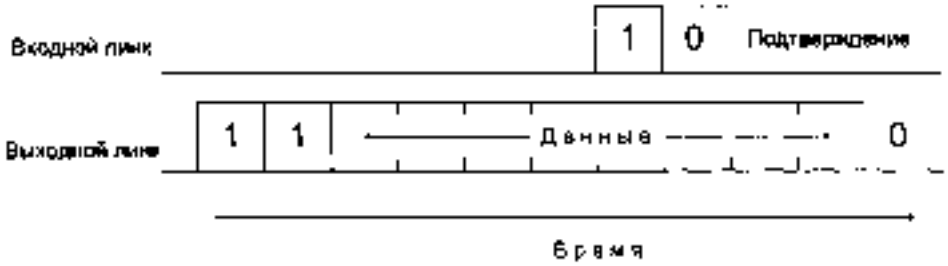


РИС. 78. ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО ЛИНКУ ТРАНСПЬЮТЕРА

После передачи байта отправитель ждет подтверждения, которое состоит из стартового и управляющего бита. Причем если при передаче информационного байта управляющий бит равен 1, то в подтверждении он равен 0. При этом байты данных и подтверждения для переданных в противоположном направлении байтов данных передаются по одному проводнику. Подтверждения имеют приоритет перед байтами данных. Можно установить режим, при котором подтверждения начинают передаваться сразу после получения стартового и управляющего битов, что приводит к передаче байтов без задержки между ними.

Если один из обменивающихся через линк процессов не готов к приему данных, байты накапливаются в регистре данных линка. При заполнении регистра подтверждение после получения очередного байта не выдается, и передающий линк приостанавливает передачу до приема данных процессом и освобождения регистра линка.

При инициации передачи первого байта сообщения существует задержка на настройку каналов прямого доступа в передающем и приемном транспьютерах, что обусловливает разную скорость при передаче коротких (от единиц до нескольких десятков байтов) и длинных (несколько тысяч байтов) сообщений. В первом случае скорость составляет 2-4 Мбит/с, во втором - максимально возможную 10-20 Мбит/с, в зависимости от настройки передающего и принимающего транспьютеров.

Передача по линку асинхронна, приемный транспьютер не чувствителен к фазе принимаемых сигналов. Единственное, что требуется - точный кварцевый генератор 5 МГц для задания тактовых сигналов транспьютеров.

Блок режимов работы линков позволяет задавать скорость передачи по линкам транспьютера (5, 10, 20 Мбит/с), причем для нулевого линка скорость устанавливается независимо от остальных. Установка осуществляется подачей соответствующих уровней на входы LinkSpecial, LinkOSpecial, Linkl23Special.

Обмены по линку программируются раздельно в передающем и принимающем транспьютерах. В передающем транспьютере программируется команда передачи по линку заданного числа байтов. В принимающем транспьютере программируется команда приема из линка задаваемого числа байтов. Реализация обмена происходит, если программы в передающем и принимающем транспьютерах выходят на команды передачи и приема. Если один транспью-

тер вышел на соответствующую команду, то он ждет, пока другой выйдет на свою команду обмена. Неправильно запрограммированный обмен ведет к бесконечному ожиданию. Кроме того, бесконечное ожидание возможно, если заданы разные значения количества передаваемых и принимаемых байтов.

Ожидание сигнала от блока событий

Блок событий (Event) выполняет преобразование внешних логических уровней на входе блока в байтовое сообщение со значением 0 или 1, передаваемое по внутреннему каналу. Поэтому программно блок Event воспринимается как специальный канал, отличием которого от обычного канала является то, что из этого канала можно только "читать". ССК для блока Event имеет фиксированный адрес 80000020 Ожидать ввода из канала Event может одновременно только один процесс в транспьютере.

Обычно Event используется для регистрации внешних прерывании в транспьютерной системе. Сигнал прерывания подается на вход транспьютера EventReq. Подтверждение приема сигнала прерывания (чтение из канала Event) выдается в виде уровня 1 по линии EventAck.

Ожидание сигнала от таймера

Программно таймер воспринимается как канал только для чтения, выдающий либо содержимое регистра таймера с соответствующим приоритетом, либо сигнал наступления ожидаемого момента времени.

Все процессы, ожидающие наступления некоторого момента времени (истечения временного интервала) помещаются в очередь к таймеру, соответствующему их приоритету. Очередь процессов отсортирована в порядке наступления ожидаемого момента времени и организована с помощью ссылок между служебными словами в рабочей области процессов. Адрес первого процесса в очереди соответствующего приоритета содержится в служебных словах транспьютера (TPtrLocO, TPtrLocI), в младших адресах памяти. При достижении ожидаемого момента времени диспетчеру передается дескриптор соответствующего процесса для его перевода в конец очереди активных процессов.

Инициализация системы после включения питания

Транспьютер и его ОЗУ построены по КМОП-технологии и не сохраняют своего состояния после отключения питания. Поэтому после включения питания для начала функционирования в транспьютер необходимо загрузить некоторый минимум программного обеспечения. Транспьютер может быть загружен как из внешнего ПЗУ, так и из любого линка. Для указания режима начальной загрузки используется вывод BootFromROM. Если уровень BootFromROM равен 1, то управление передается по адресу FFFFFFFE, по которому обычно содержится команда безусловного перехода на программу начальной загрузки.

Если BootFromROM равен 0, то производится загрузка из линка. После включения питания транспьютер переходит в состояние ожидания приема данных по линкам. Первый байт, принятый по любому из линков, управляет

дальнейшим режимом работы транспьютера. Если его значение больше 1, то он интерпретируется как длина кода программы, принимаемой следом за ним. Принимаемые данные записываются в память транспьютера начиная с адреса MemStart, с него же и начинается выполнение программы. Как правило, первой загружается программа начальной загрузки транспьютера, которая обеспечивает загрузку остального программного обеспечения.

Если первый принятый управляющий байт равен 0 или 1, то транспьютер переходит в режим управления памятью.

Управляющий байт, равный 0, заставляет транспьютер интерпретировать следующие 4 байта как адрес памяти, по которому в память будет записано слово, поступившее как следующие 4 байта. После этого транспьютер снова переходит в режим управления памятью, из которого его может вывести лишь прием управляющего байта со значением, большим 1.

Если управляющий байт равен 1, следующие 4 байта задают адрес слова памяти, которое будет считано и передано как 4 байта по тому же линку, из которого поступили в противоположном направлении предыдущие 4 байта. После этого транспьютер остается в режиме управления памятью.

Режим управления памятью используется обычно для целей отладки.

Управление системой

Появление уровня 1 на входе Analyze переводит транспьютер, работающий по программе, в режим управления памятью. Как уже было сказано выше, в этом режиме может быть считано и изменено состояние памяти транспьютера.

Обработка ошибок

Программные ошибки, такие как арифметическое переполнение, деление на 0, выход за границы массива, вызывают установку в транспьютере флага error и появление сигнала на выходе Error. Флаг режима обработки ошибок транспьютера - HaltOnError - позволяет определять поведение транспьютера в случае ошибки (установки флага error): если был задан режим остановки (HaltOnError 1), то в случае возникновения ошибки устанавливается еденица на выходе Error и транспьютер останавливается; если была выполнена установка HaltOnError=0, то в случае ошибки устанавливается в еденицу флаг error, однако транспьютер продолжает работать.

В мультипроцессорных системах выводы Analyze, Reset, Error, Errorin всех транспьютеров обычно соединены согласно схеме, представленной на рис. 79. При такой схеме соединения появление сигнала Error на выводе любого транспьютера переводит всю систему в режим управления памятью. Соответствующие программы в хост-машине позволят определить состояние системы и пути преодоления ошибочной ситуации.

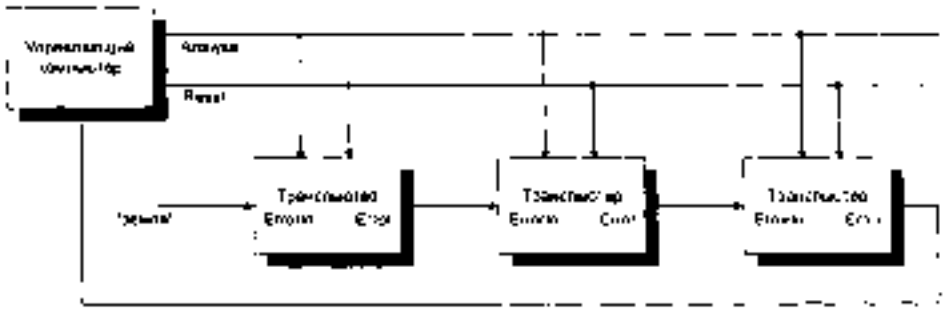


РИС. 79. СХЕМА СОЕДИНЕНИЯ ЛИНИЙ СИСТЕМНОГО СЕРВИСА В МУЛЬТИТРАНСПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЕ

Лекция 13.

Транспьютер Т9000

Архитектурные и структурные особенности

На момент своего появления транспьютеры семейства Т-8 были самыми быстродействующими 32-разрядными микропроцессорами. Попытка фирмы Inmos сохранить лидерство перед американскими производителями микропроцессоров воплотилась в разработку транспьютера Т9000. Его основные технические характеристики:

- производительность - 200 MIPS, 25 MFLOPS;
- объем внутрикристальной памяти - 16 Кбайт;
- число коммуникационных каналов - 4;
- скорость обмена по линку - 100 Мбит/с.

Основными особенностями архитектуры данного транспьютера являются аппаратная поддержка механизма виртуальных каналов и аппаратный группировщик команд, повышающий загрузку параллельно функционирующих устройств процессора.

Однако фирма Inmos не смогла выдержать обещанные сроки поставки Т-9000, а также достичь объявленной производительности. Поэтому, хотя образцы Т-9000, работающие на пониженной, по сравнению с объявленной, тактовой частоте были выпущены, коммерческого успеха они не имели.

Виртуальные линки

Механизм виртуальных линков позволяет вести по одному физическому линку обмен между произвольным числом пар процессов, протекающих в разных транспьютерах.

Управляет обменом встроенный в Т-9000 процессор виртуального канала (VCP). Сообщение, передаваемое от процесса-отправителя к процессу-получателю, VCP делит на пакеты, каждый из которых содержит 32 байта данных (последний пакет - от 1 до 32 байт), заголовок пакета и концевик (дам последнего пакета - признак конца сообщения, для остальных - признак конца

пакета). При получении пакета, VCP в принимающем транспьютере передает подтверждение в виде пустого пакета содержащего только заголовок и признак конца пакета. VCP, используя информацию, содержащуюся в заголовке пакета, осуществляет маршрутизацию пакетов и сшивку сообщения. Таким образом, обмен данными для процессов выглядит так же, как и в случае транспьютеров прежних поколений, что способствует преемственности программного обеспечения.

"Прозрачность" для процессов маршрутизации сообщений в сети транспьютеров T9000 полностью устраняет различие между обменом в рамках одного транспьютера и обменом в транспьютерной сети. Этот свойство существенно упрощает разработку программы для мультитранспьютерной системы и повышает ее эффективность, поскольку не требуется дополнительных расходов на организацию маршрутизации и коммутации.

В целях увеличения числа физических связей транспьютера T9000 разработан программируемый коммутатор C 104, осуществляющий передачу сообщения с любого из 32 входов на любой из 32 выходов в соответствии с их заголовком.

Для возможности использования в системе T9000 совместно с транспьютерами предшествующих поколений разработана микросхема C 100, выполняющая согласование электрических характеристик и преобразование формата передаваемых по линкам данных.

Группировщик команд

В T-9000 полностью сохранена система команд предыдущих поколений транспьютеров. Увеличение производительности достигается за счет одновременного исполнения группы, в которую входит до 8 команд.

В T-9000 реализован аппаратный группировщик команд. Образование групп команд преследует цель достижения высокой загрузки устройств процессора.

Процессор за один такт извлекает из памяти 4 команды. В силу того, что некоторые команды требуют для исполнения более чем 1 такт, в процессоре может быть накоплено количество команд, достаточное для формирования 5 групп по 8 команд каждая, что соответствует полной загрузке устройств процессора.

Транспьютероподобные микропроцессоры серии "Квант"

Примером отечественной разработки транспьютероподобных процессоров являются микропроцессоры серии "Квант". Это семейство 32-разрядных микропроцессоров с оригинальной архитектурой, сочетающей RISC-подход с методикой длинного командного слова. Семейство характеризуется высокой степенью внутреннего параллелизма процессов обработки, конвейерным выполнением команд, Гарвардской архитектурой памяти, наличием последовательных коммуникационных каналов -линков. Были выпущены две модификации микропроцессора:

- "Квант-10" по технологии 2,5 мкм на трех полузаказных матричных

кристаллах 1537 ХМ2, спроектированных в НИИ "Квант" и изготовленных в НИИ точной технологии, г. Зеленоград;

• "Квант-20" по технологии 1,5 мкм на одном кристалле типа U1700 фирмы ZMD (ФРГ, Дрезден), спроектированном в НИИ "Квант" и изготовленном фирмой ZMD. Структура микропроцессора показана на рис. 80. Микропроцессор работает с внешними раздельными кэш-памятями команд и данных и может использовать сопроцессор. Память данных микропроцессора содержит только данные, тогда как память команд может содержать как команды, так и данные (такая архитектура памяти получила название модифицированной Гарвардской).

Устройство управления

Процессор выбирает из памяти команд 32-разрялные команды и помещает их сначала в первый, а затем во второй регистры команд, далее декодирует команды и формирует управляющие сигналы для всех функциональных блоков процессора. Блок управления прерываниями обеспечивает приоритетную схему обработки 10 типов внешних и внутренних прерываний. Блок ПДП прямого доступа в память позволяет выполнять вычисления одновременно с обменом данными по 4 коммуникационным каналам. Блок защиты данных предназначен для защиты фрагментов памятей команд и данных, выделяемых под операционную систему.

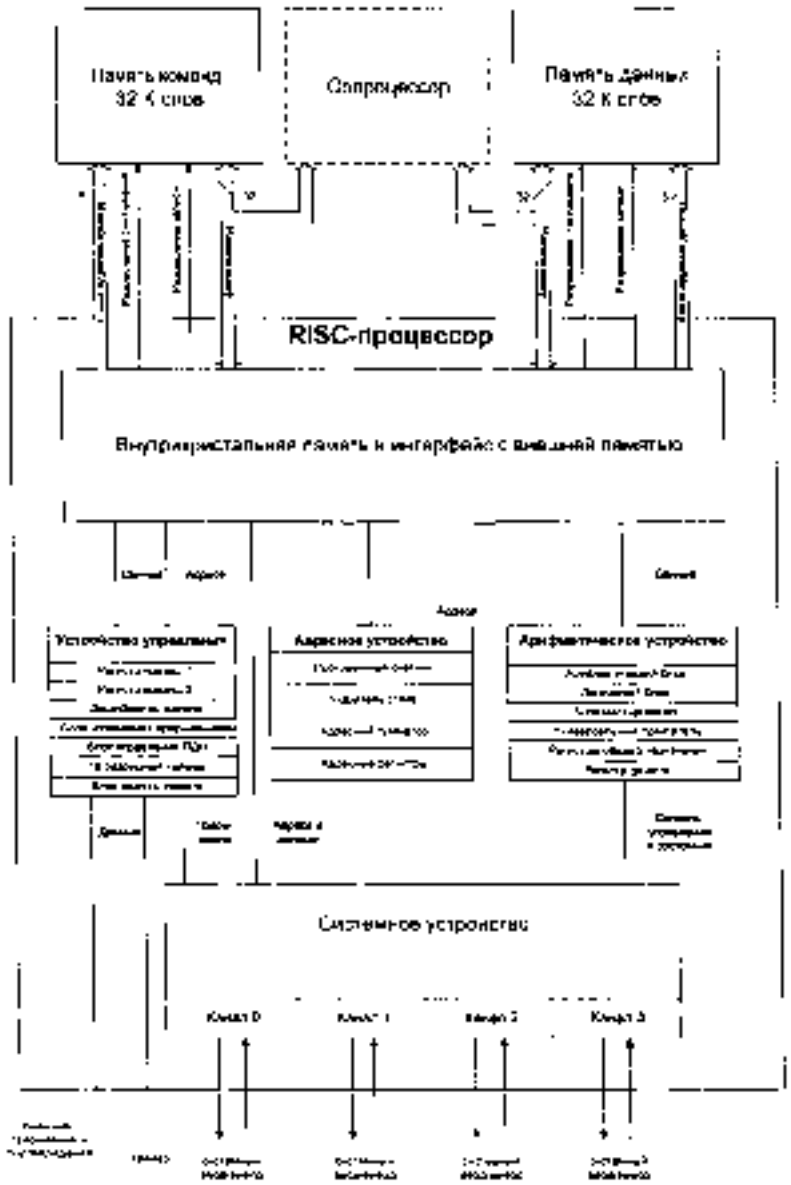


Рис. 80. Структура микропроцессора "Квант"

Адресное устройство

В процессоре реализована концепция разнесенной" (decoupled) архитектуры, в соответствии с которой все вычисления адресов выполняются отдельным адресным устройством, что предоставляет возможность одновременной обработки данных в арифметическом устройстве и вычисления адресов в адресном устройстве.

Адресное устройство содержит в программном счетчике адрес следующей команды, поддерживает в памяти стек адресов возврата из подпрограмм (обработчиков прерываний), выполняет все вычисления адреса в 16-разрядном адресном сумматоре. Файл адресных регистров (АР) содержит 8 16-разрядных АР для МП "Квант-10" и 4 16-разрядных АР для МП "Квант-20".

Арифметическое устройство

Арифметический блок способен выполнять 16 логических и 14 арифметических операции, в том числе байтовые, пошаговое умножение 32-

разрядного множимого на два разряда множителя. Логический блок может выполнять логические операции параллельно с арифметическими. Все операции выполняются над 32- разрядными операндами за один такт.

Универсальный сдвигатель способен выполнять за один такт логический, арифметический или циклический сдвиг 32-разрядного слова влево или вправо на 0 - 31 разряд, а также осуществлять циклические сдвиги внутри байтов, тетрад, пар. Схема маскирования арифметического устройства позволяет маскировать результаты любой операции содержимым одного из регистров общего назначения. Файл регистров общего назначения (РОН) используется для хранения операндов, результатов, масок, адресов данных. В регистр флагов заносятся признаки по результатам выполнения операций в арифметическом устройстве.

Системное устройство

Системное устройство обеспечивает связь с 4 аналогичными процессорами по независимым каналам. Обмен осуществляется побитно блоками слов. В начале каждого блока задается количество передаваемых слов и адрес в памяти, в который будет записываться сообщение. В процессе передачи осуществляется контроль по четности для каждого передаваемого байта данных. В случае ошибки при передаче вырабатывается соответствующее прерывание.

Регистр зашиты памяти позволяет запрещать запись в любой блок памяти длиной 4 Кслов.

Конвейер процессора

В процессоре реализован трехстадийный конвейер выполнения команд. На первой стадии осуществляется выборка команды из памяти команд, на второй стадии производится формирование адреса данных для последующего обращения в память и модификация регистров адреса, на третьей стадии выполняются ввод-вывод данных из памяти по предварительно вычисленному адресу и операции арифметики. Действия на каждом этапе выполняются за один такт, что позволяет при обеспечении высокой степени загруженности конвейера выполнять команды в среднем за один такт.

Система команд

Команды процессора подразделяются на простые и комплексные. Первые выполняют одно действие, тогда как вторые задают трехадресную арифметическую операцию над данными в регистрах одновременно с операцией обмена данными с памятью и (или) модификацией адресных регистров.

При обращении к памяти используются следующие виды адресации:

базовая по содержимому АР, базовая по содержимому РОНа, автоинкрементная или автодекрементная адресация по любому АР, базово-индексная адресация по двум АР. В МП "Квант-20" добавлена базово-индексная адресация с 8-разрядным смещением, задаваемым в поле команды.

Для упрощения устройства управления и обеспечения большей гибкости в программах в микропроцессоре реализована следующая схема выполнения

условных и безусловных переходов. В случае условного перехода специальная команда проверяет соответствие флага признаков результата арифметической операции одному из 16 возможных условий перехода. Если имеет место соответствие, то следующая команда не выполняется, а как бы подменяется пустой операцией (NOP). Причем проверка условия осуществляется на фоне выполнения арифметических операций.

Чтобы не нарушить работу конвейера (избежать пропуска конвейерных циклов), безусловный переход выполняется но принципу "отложенного перехода". В конвейере сначала отрабатывается команда следующая за командой перехода, а затем выполняется переход, Так же выполняется и обращение к подпрограммам.

Конвейеризация внутренних процессов в осуществляется во времени выполнения операций в различных функциональных устройствах микропроцессора позволяют выполнять до четырех команд за один такт.

Производительность микропроцессора.

Гибкая система команд микропроцессор способствует его эффективному применению как на задачах счётного характера, так и на задачах логической и символьной обработки. Коммуникационные возможности процессора позволяют строить на его базе масштабируемые системы с MPP-архитектурой.

Уникальная архитектура процессора серии "Квант" позволила обеспечить лучшее значение производительности по сравнению с транспьютерами фирмы Inmos. Производительность микропроцессора "Квант-10" с тактовой частотой 4 МГц соответствует производительности транспьютера Т-800 с частотой 20 МГц. Производительность микропроцессоров "Квант-10" и "Квант-20" может быть оценена как 12-15 Моп/с и 25-30 Моп/с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А.Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА Б1.В.06 КОНСТРУИРОВАНИЕ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Направление
15.03.06 Мехатроника и робототехника

Профиль

Мехатроника и робототехника промышленных производств

Авторы: Таугер В.М.

Одобрена на заседании кафедры
Технической механики
(название кафедры)
Зав. кафедрой _____
(подпись)
Волков Е.Б.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 1 от 15.09.2023
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета
Горно-механического
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)

Екатеринбург

Задания на курсовой проект составлены в соответствии с учебным планом по дисциплине «Конструирование мехатронных модулей» для студентов направления ***15.03.06 Мехатроника и робототехника***.

Задания представляют собой 32 варианта технических требований к мехатронному модулю. Каждый проектант должен сконструировать мехатронный модуль в соответствии с определенным вариантом технических требований.

Составитель: В.М. Таугер, канд. техн. наук, доцент кафедры «Техническая механика».

ОГЛАВЛЕНИЕ

1.ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ 4
2.ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ 5
3.СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ 6
4.ВАРИАНТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ 9
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 10

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Задачей курсового проектирования является конструирование мехатронного модуля в соответствии с техническим заданием.

Техническое задание включает в себя общие и специальные технические требования. Общие требования (раздел 2) относятся ко всем подлежащим разработке мехатронным модулям. Конкретные сочетания специальных требований (раздел 3) различны для каждого варианта. Ведущий преподаватель назначает вариант из табл. 3.1 проектанту персонально.

Руководствуясь методикой проектирования мехатронных модулей, студент формирует последовательно ***F*-, *S*-** и ***C*-**модели устройства, а затем для окончательно принятой ***C*-**модели разрабатывает техническую документацию в составе:

- расчетно-пояснительная записка;
- чертеж общего вида мехатронного модуля.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать: обоснование основных конструктивных решений; сравнительную оценку стоимости изготовления различных вариантов устройства модуля; расчет преобразователя движения, включающий в себя определение передаточного отношения и проверки на прочность и кинематическую точность; схемы, алгоритмы и т.п., необходимые для пояснения устройства и работы мехатронного модуля.

Расчетно-пояснительную записку следует выполнять на листах формата А4 с соблюдением правил ЕСКД к текстовым документам.

Чертеж общего вида должен содержать виды и разрезы с размерами, дающие полное представление о конструкции и технических возможностях меха-тронного модуля и обеспечивающие возможность дальнейшей разработки чертежно-технической документации, а также техническую характеристику модуля. На свободном поле чертежа должна быть дана экспликация с перечнем основных узлов и важнейших деталей изделия.

Чертеж общего вида следует выполнять на листе формата А1 (или большем - при необходимости) с соблюдением соответствующих требований ЕСКД.

Консультации в процессе выполнения и прием курсового проекта осуществляет ведущий преподаватель.

2. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

2.1. Низкая трудоемкость монтажа (демонтажа), сборки (разборки), технического контроля и обслуживания.

2.2. Функционирование в автоматическом режиме. Конструкция должна обеспечивать изменение скорости и направления движения рабочего органа.

2.3. Автоматизированный контроль технических параметров, самодиагностика неисправностей.

2.4. Компактность конструкции.

2.5. Минимальные массогабаритные показатели.

2.6. Предпочтительно применение асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

2.7. Движение рабочего органа под действием нагрузки при выключенном двигателе не допускается. В мехатронных модулях с самотормозящимися преобразователями движения тормозной момент на валу двигателя должен составлять не менее 20% от крутящего момента при номинальной нагрузке.

3. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

3.1. Вид движения рабочего органа:
а) вращательное, ось вращения вертикальная;
б) вращательное, ось вращения горизонтальная;
в) возвратно-поступательное горизонтальное;
г) возвратно-поступательное вертикальное.

3.2. Максимальная величина перемещения рабочего органа:
а) неограниченное число оборотов;
б) два оборота;
в) 1,5π;
г) 1000 мм;
д) 500 мм;
е) 100 мм.

3.3. Характер нагрузки на рабочем органе:
а) реверсивная;
б) нереверсивная.

3.4. Номинальная величина нагрузки на рабочем органе:
а) $T_{ном}$ = 1000 Нм;
б) $T_{ном}$ = 200 Нм;
в) $T_{ном}$ = 50 Нм;
г) $F_{ном}$ – 10 кН;
д) $F_{ном}$ – 2 кН;
е) $F_{ном}$ = 0,5 кН.
Обозначения: $T_{ном}$ – номинальный крутящий момент; $F_{ном}$ – номинальная осевая сила.

3.5. Номинальная скорость движения рабочего органа при номинальной нагрузке:
а) $\omega_{ном} = 7{,}85\ с^{-1}$;
б) $\omega_{ном} = 3{,}93\ с^{-1}$;
в) $\omega_{ном} = 0{,}785\ с^{-1}$;
г) $v_{ном}$ = 1 м/с;
д) $v_{ном}$ = 0,2 м/с;
е) $v_{ном}$ = 0,05 м/с.
Обозначения: $\omega_{ном}$ – угловая скорость; $v_{ном}$ – линейная скорость.

3.6. Способ крепления модуля:
а) фланцевый;
б) на лапах.

3.7. Режим эксплуатации:
а) по рис. 3.7.1;
б) по рис. 3.7.2;
в) по рис. 3.7.3.

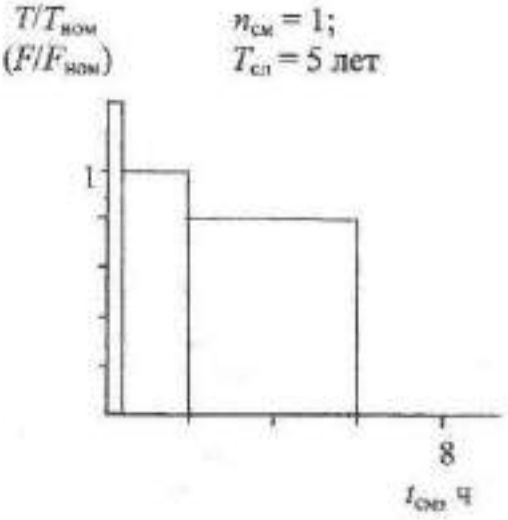


Рис. 3.7.1

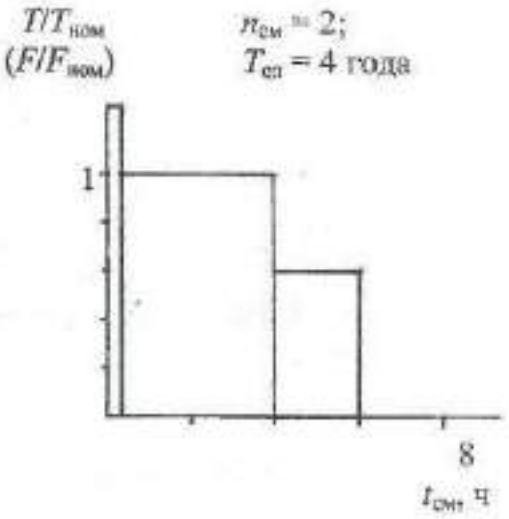


Рис. 3.7.2

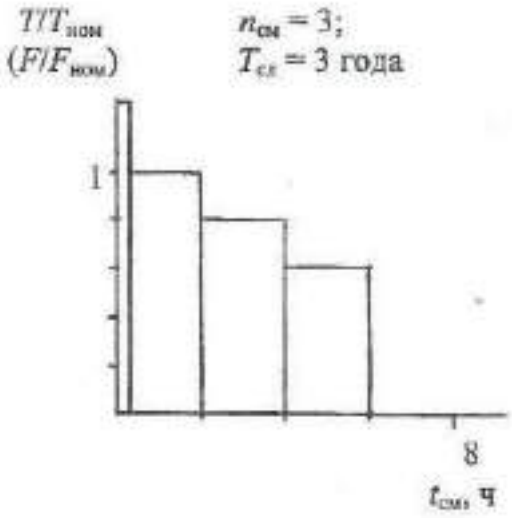


Рис. 3.7.3

Обозначения: T, F – значения нагрузки; $n_{см}$ – число смен в сутки; $t_{см}$ – продолжительность смены; $T_{сл}$ – срок службы модуля.

3.8. Допустимая кинематическая погрешность преобразователя движения:
а) $[F'_{iop}] = 0{,}15$ мм;
б) $[F'_{iop}] = 0{,}08$ мм;
в) $[F'_{iop}] = 0{,}02$ мм;

г) $[\delta\varphi] = 0{,}0015$ рад;
д) $[\delta\varphi] = 8 \cdot 10^{-4}$ рад;
е) $[\delta\varphi] = 2 \cdot 10^{-4}$ рад.

3.9. Допустимая величина мертвого хода:
а) $[J_{tp}] = 0{,}3$ мм;
б) $[J_{tp}] = 0{,}1$ мм;
в) $[J_{\varphi p}] = 0{,}003$ рад;
г) $[J_{\varphi p}] = 0{,}001$ рад.

3.10. Дополнительные требования:
а) самоторможение рабочего органа;
б) минимальная высота (вертикальный габарит) мехатронного модуля;
в) минимальная длина (наибольший горизонтальный габарит) мехатронного модуля;
г) функционирование при температурах воздуха -30…+20 °С;
д) соосность вала двигателя и выходного (тихоходного) вала модуля.

4. ВАРИАНТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

4.1. Общие технические требования к мехатронному модулю см. раздел 2.

4.2. Специальные технические требования см. табл. 4.1.

Таблица 4.1

Варианты комплексов специальных технических требований к мехатронному модулю

Номер варианта	Специальные технические требования									
	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10
1	а	а	а	а	а	а	а	а	б	б
2	б	б	б	б	б	б	б	б	-	а
3	в	д	а	г	г	а	в	г	в	-
4	г	е	б	д	д	б	а	д	-	г
5	а	в	а	в	в	а	б	в	а	д
6	б	а	б	а	а	б	в	а	-	в
7	в	е	а	е	е	а	а	е	г	а
8	г	д	б	г	г	б	б	г	-	-
9	а	б	а	б	б	а	в	б	б	а
10	б	в	б	в	в	б	а	в	-	г
11	в	г	а	д	д	а	б	д	г	-
12	г	г	б	е	е	б	в	е	-	а
13	а	а	а	в	в	а	а	в	а	д
14	б	б	б	а	а	б	б	а	-	-
15	в	г	а	г	г	а	в	г	в	в
16	г	д	б	е	е	б	а	е	-	а
17	а	в	б	а	а	б	б	а	-	г
18	б	а	а	б	б	а	в	б	б	-
19	в	д	б	д	д	б	а	д	-	а
20	г	г	а	г	г	а	б	г	в	б
21	а	б	б	а	в	б	в	б	-	д
22	б	в	а	в	а	а	а	в	а	в
23	в	е	б	е	д	б	б	е	-	-
24	г	д	а	д	д	а	в	д	г	-
25	а	в	б	б	б	б	а	б	-	-
26	б	б	а	а	а	а	б	а	б	в
27	в	г	б	г	е	б	в	г	-	-
28	г	е	а	е	е	а	а	г	в	а
29	а	в	б	а	а	б	б	в	-	а
30	б	а	а	б	в	а	в	в	а	д
31	в	д	б	е	г	б	а	д	-	в
32	г	г	а	д	г	а	б	е	г	-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егоров О.Д., Подураев Ю.В. Мехатронные модули. Расчет и конструирование: Учебное пособие. –М.: МГТУ «СТАНКИН», 2004.
2. Таугер В.М. Основы конструирования мехатронных модулей и систем: Учебное пособие. - Екатеринбург: УрГУПС, 2004.
3. Таугер В.М. Конструирование преобразователей движения мехатронных модулей: Учебное пособие. - Екатеринбург: УрГУПС, 2006.

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

В. М. Таугер

КОНСТРУИРОВАНИЕ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Учебное пособие

Ай Пи Ар Медиа
Москва
2022

Автор:
Таугер В. М. — канд. техн. наук, зав. кафедрой технической механики
Уральского государственного горного университета

Таугер, Виталий Михайлович.
Т23 Конструирование мехатронных модулей : учебное пособие / В. М. Таугер ; Уральский государственный горный университет. — Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2022 . — 261 с. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-4497-1372-8

В учебном пособии дана классификация современных мехатронных модулей и их тормозных механизмов, датчиков, реле, направляющих. Приведены общие положения по конструированию мехатронных модулей с электро- и гидроприводом, описаны базовые конструктивные элементы модулей и методики их расчета.

Подготовлено с учетом требований Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Предназначено для бакалавров обучающихся по направлению подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника», изучающих дисциплины «Расчет и конструирование мехатронных и робототехнических систем», «Детали мехатронных модулей, роботов и их конструирование», аспирантов, обучающихся по направлению подготовки 15.06.01 «Машиностроение», изучающих дисциплину «Основы мехатроники», а также для студентов других технических направлений, занимающихся проектированием модулей и комплексов для автоматизации производств.

Учебное электронное издание

ISBN 978-5-4497-1372-8

© Таугер В. М., 2022
© ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа», 2022

Редактор *Ю. В. Семенова*
Технический редактор, компьютерная верстка *Е. В. Якубович*
Корректор *О. А. Адясова*
Обложка *С. С. Сизиумовой*

Подписано к использованию 19.08.2021. Объем данных 19 Мб.

Издание представлено в электронно-библиотечных системах
IPR BOOKS (www.iprbookshop.ru),
Библиокомплектатор (www.bibliocomplectator.ru)

Бесплатный звонок по России: **8-800-555-22-35**
Тел.: 8 (8452) 24-77-97, 8 (8452) 24-77-96

Отдел продаж и внедрения ЭБС:
доб. 206, 213, 144, 145
E-mail: sales@iprmedia.ru

Отдел комплектования ЭБС:
доб. 224, 227, 208
E-mail: mail@iprbookshop.ru

По вопросам приобретения издания обращаться:
доб. 208, 201, 222, 224
E-mail: izdat@iprmedia.ru, author@iprmedia.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 7

1. КОНСТРУКЦИИ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ 8
1.1. Основные термины и определения 8
1.2. Классификация мехатронных модулей 9
1.3. Электроприводные мехатронные модули 12
1.3.1. Модули движения 12
1.3.2. Мехатронные модули движения 24
1.3.3. Интеллектуальные мехатронные модули 31
1.4. Гидроприводные мехатронные модули 37

2. ДВИГАТЕЛИ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ 41
2.1. Электродвигатели 41
2.1.1. Электродвигатели углового движения 41
2.1.2. Электродвигатели линейного перемещения 46
2.2. Гидравлические двигатели 50
2.2.1. Классификация гидравлических двигателей объемного вытеснения 50
2.2.2. Гидравлические двигатели вращательного движения 52
2.2.3. Гидроцилиндры 61

3. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ 65
3.1. Определение мощности двигателя 65
3.1.1. Общие положения 65
3.1.2. Энергетический расчет универсального мехатронного модуля при незначительных динамических нагрузках 66
3.1.3. Энергетический расчет универсального мехатронного модуля при значительных динамических нагрузках 69
3.1.4. Оптимизация выбора силовых элементов 71
3.2. Расчет преобразователя движения 72
3.2.1. Предварительный выбор передачи по общим критериям 72
3.2.2. Особенности расчета преобразователей движения мехатронных модулей 80
3.2.3. Цилиндрические зубчатые передачи 82
3.2.4. Конические зубчатые передачи 82
3.2.5. Реечные передачи 83
3.2.6. Червячные передачи 94
3.2.7. Планетарные зубчатые передачи 95
3.2.8. Волновые зубчатые передачи 104
3.2.9. Передачи винт-гайка скольжения 116
3.2.10. Шарико-винтовые передачи 121
3.2.11. Ролико-винтовые передачи 127
3.3. Люфтовыбирающие механизмы 129
3.3.1. Выборка мертвого хода в зубчатых преобразователях движения 129
3.3.2. Выборка мертвого хода в винтовых преобразователях движения 134

4. ГИДРОПРИВОД МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ 141
4.1. Насосы 141
4.1.1. Классификация насосов 141
4.1.2. Радиально-поршневые насосы 142
4.1.3. Аксиально-поршневые насосы 144
4.1.4. Пластинчатые насосы 147
4.1.5. Шестеренные насосы 150
4.2. Клапаны и дроссели 151
4.2.1. Обратные клапаны 151
4.2.2. Предохранительные клапаны 152
4.2.3. Дроссели и дроссельные регуляторы скорости гидродвигателя 154
4.3. Гидрораспределители 158
4.3.1. Общие сведения 158
4.3.2. Золотниковые распределители 160
4.3.3. Дросселирующие распределители 165
4.4. Вспомогательные устройства гидроприводов 168
4.4.1. Гидроаккумуляторы 168
4.4.2. Резервуары для рабочей жидкости 170
4.4.3. Фильтры 172
4.5. Методика проектирования гидросистем мехатронных модулей 173

5. ТОРМОЗНЫЕ УСТРОЙСТВА МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ 177
5.1. Назначение и разновидности тормозных устройств 177
5.2. Механические тормозные устройства 178
5.3. Электромагнитные тормозные устройства 188

6. НАПРАВЛЯЮЩИЕ 192
6.1. Назначение и разновидности направляющих 192
6.2. Направляющие с трением скольжения 192
6.3. Направляющие с трением качения 199
6.4. Шариковые LM-направляющие 203
6.5. Шарикосплайновые направляющие 204
6.6. Расчеты LM- и шарикосплайновых направляющих 205
6.6.1. Расчет LM-направляющих на долговечность 205
6.6.2. Расчет шарикосплайновых направляющих на долговечность 207
6.6.3. Расчет LM- и шарикосплайновых направляющих на статическую грузоподъемность 208

7. ИНФОРМАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ 210
7.1. Датчики информации 210
7.2. Датчики положения и перемещения 211
7.3. Датчики скорости 222
7.4. Реле давления и манометры 226
7.5. Динамометры 227

8. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ 230
8.1. Общие положения 230
8.2. Функция и структура мехатронного модуля 232
8.3. Синергетическая интеграция в мехатронных модулях 235

8.4. Основы методики конструирования мехатронных модулей 241
8.4.1. Техническое задание 241
8.4.2. Анализ взаимосвязей мехатронного модуля с внешним окружением 242
8.4.3. Разработка технических требований 243
8.4.4. Предварительное конструирование основных частей мехатронного модуля 245
8.4.5. Разработка вариантов эскизной компоновки мехатронного модуля 246
8.4.6. Чертеж эскизной компоновки 248
8.4.7. Компактность конструкции 250
8.4.8. Чертеж окончательной компоновки 251
8.4.9. Типы и стадии разработки конструкторской документации 254

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 259

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 260

ВВЕДЕНИЕ

Мехатроника является новой и динамично развивающейся отраслью науки и техники. Она базируется на знаниях и достижениях в областях механики, электроники и компьютерного управления и представляет собой более высокий уровень развития современного машиностроения.

В ряде отраслей производства тенденция перехода от механики к мехатронике сегодня доминирует, что приводит к появлению более совершенных машин, систем и процессов.

Современное производство и эксплуатация промышленного оборудования основаны на массе локальных комплексов, либо автоматизированных, либо таких, автоматизация которых возможна и целесообразна, что создает основу для широкого внедрения мехатронных модулей и систем. Особо следует указать на технологические процессы, в котором устройства работают в тяжелых условиях, а следовательно, существует настоятельная необходимость в мехатронных модулях повышенной надежности и эффективности.

В учебном пособии приведены общие положения по конструированию мехатронных модулей с электро- и гидроприводом, даны описания базовых конструктивных элементов модулей и методики их расчета.

Издание предназначено для бакалавров и аспирантов направления подготовки «Мехатроника и робототехника», а также может быть полезно студентам других технических направлений, занимающимся проектированием модулей и комплексов для автоматизированных производств.

В результате изучения изложенного в учебном пособии материала обучающиеся будут:

– *знать* структуру, состав и классификацию мехатронных модулей, принципы и методы математического моделирования мехатронных модулей и систем, стандартные исполнительные и управляющие устройства, средства автоматики, измерительной и вычислительной техники;

– *уметь* производить расчеты как отдельных структурных элементов, так и мехатронных модулей и узлов в целом;

– *владеть* навыками составления математических моделей и проектирования мехатронных узлов.

1. КОНСТРУКЦИИ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

1.1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Мехатроника — это область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов точного перемещения с электронными, электротехническими (гидротехническими, пневмотехническими) и компьютерными компонентами, обеспечивающая проектирование и производство качественно новых модулей и систем с интеллектуальным управлением их функциональными движениями.

Мехатронный модуль (ММ) — функционально и конструктивно самостоятельное изделие для реализации движений с взаимопроникновением и синергетической аппаратно-программной интеграцией составляющих его элементов, имеющих различную физическую природу.

К *элементам различной физической природы* относятся:

– механические (преобразователи движения, трансмиссии, звенья);

– гидравлические (гидрораспределители, клапаны, дроссели);

– пневматические (пневмораспределители, клапаны, дроссели);

– электротехнические (двигатели, тормоза, электроуправляемые муфты);

– гидротехнические (насосы, гидродвигатели, гидромуфты, гидротрансформаторы, гидроаккумуляторы);

– пневмотехнические (насосы, компрессоры, пневмодвигатели, пневмоаккумуляторы);

– электронные (электронные блоки и микропроцессоры);

– информационные (датчики перемещения, линейной и угловой скорости, усилия, момента, температуры, давления и т.п.).

Суть *синергетической интеграции* состоит в объединении в единый модуль элементов различной физической природы при сохранении функционального преобразования, выполняемого данным модулем.

Преобразователь движения — механическое устройство, которое реализует заданное управляемое движение и взаимодействует с внешними объектами. В приводных ММ с этой целью применяются одно- и многоступенчатые передачи вращательного (редукторы, мультипликаторы) и поступательного движения, а также вариаторы различных конструкций.

Интерфейс — устройство, обеспечивающее связь между различными блоками ММ. В зависимости от физической природы входных и выходных переменных интерфейсные блоки могут быть как чисто механическими (гидравлическими, пневматическими), так и содержать электронные аппаратно-программные компоненты. Примером механического интерфейса является муфта, связывающая преобразователь движения с двигателем (необходимо попутно отметить, что в ММ следует всемерно избавляться от таких интерфейсов). Электронные интерфейсы расположены на входах и выходах устройства компьютерного управления и предназначены для его сопряжения с последующими структурными элементами, например, с цифро-аналоговым преобразователем и датчиками обратной связи.

Модуль движения (МД) — конструктивно и функционально самостоятельный узел, включающий в себя механическую (гидравлическую, пневматическую) и электротехническую (гидротехническую, пневмотехническую) составляющие, который можно использовать индивидуально и в различных комбинациях с другими модулями.

Мехатронный модуль движения (ММД) — конструктивно и функционально самостоятельный узел, включающий в себя механическую, (гидравлическую, пневматическую), электротехническую (гидротехническую, пневмотехническую) и информационную части, который можно использовать индивидуально и в различных комбинациях с другими модулями.

Интеллектуальный мехатронный модуль (ИММ) — конструктивно и функционально самостоятельный узел с синергетической интеграцией механической (гидравлической, пневматической), электротехнической (гидротехнической, пневмотехнической), информационной и компьютерной (электронной) частей, который можно использовать индивидуально и в различных комбинациях с другими модулями.

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

По физической природе составляющих элементов ММ подразделяются на электроприводные, гидроприводные, пневмоприводные и прочие.

В состав электроприводных ММ входят электродвигатель и (как правило) преобразователь движения. Они распространены наиболее широко и обычно являются базой для сравнения вариантов на стадии проектирования.

Гидроприводные ММ содержат гидродвигатели линейного или вращательного движения. По сравнению с электроприводными они обладают значительно меньшими размерами и массой, в частности, потому, что не требуют преобразователя движения; малой инерционностью; простотой регулирования и его широким диапазоном. К недостаткам их следует отнести сравнительно высокую стоимость; необходимость в насосной установке; чувствительность к качеству рабочей жидкости.

Пневмоприводные ММ по принципу действия подобны гидроприводным, а различия между ними определяются особенностями рабочей среды — сжатого воздуха. ММ с пневмоприводом конструктивно проще гидроприводных, дешевле, менее требовательны в эксплуатации, способны реализовать более высокие скорости движения. В то же время их нагрузочная способность при равных размерах на два порядка меньше, существенно ниже КПД, они не в состоянии обеспечивать точные перемещения.

В число прочих ММ входят модули как с комбинированным приводом, например электрогидравлическим, так и с устройствами для преобразования энергии, не относящимися к электро-, гидро- и пневмоприводу.

Ниже речь пойдет об электроприводных и гидроприводных ММ как наиболее широко применяемых в настоящее время.

Классификация ММ по конструктивным признакам представлена на рис. 1.1.

В полной мере фундаментальному определению мехатроники соответствуют только ИММ, которые содержат приводную часть (двигатель), информационную часть (датчики) и аппаратно-встроенную компьютерную часть.

Включение в классификацию МД и ММД представляется методически и логически обоснованным, так как эти классы объектов, построенные на мехатронных принципах проектирования, являются базой для создания ИММ.

Далее ММ будут рассмотрены согласно приведенной классификации.

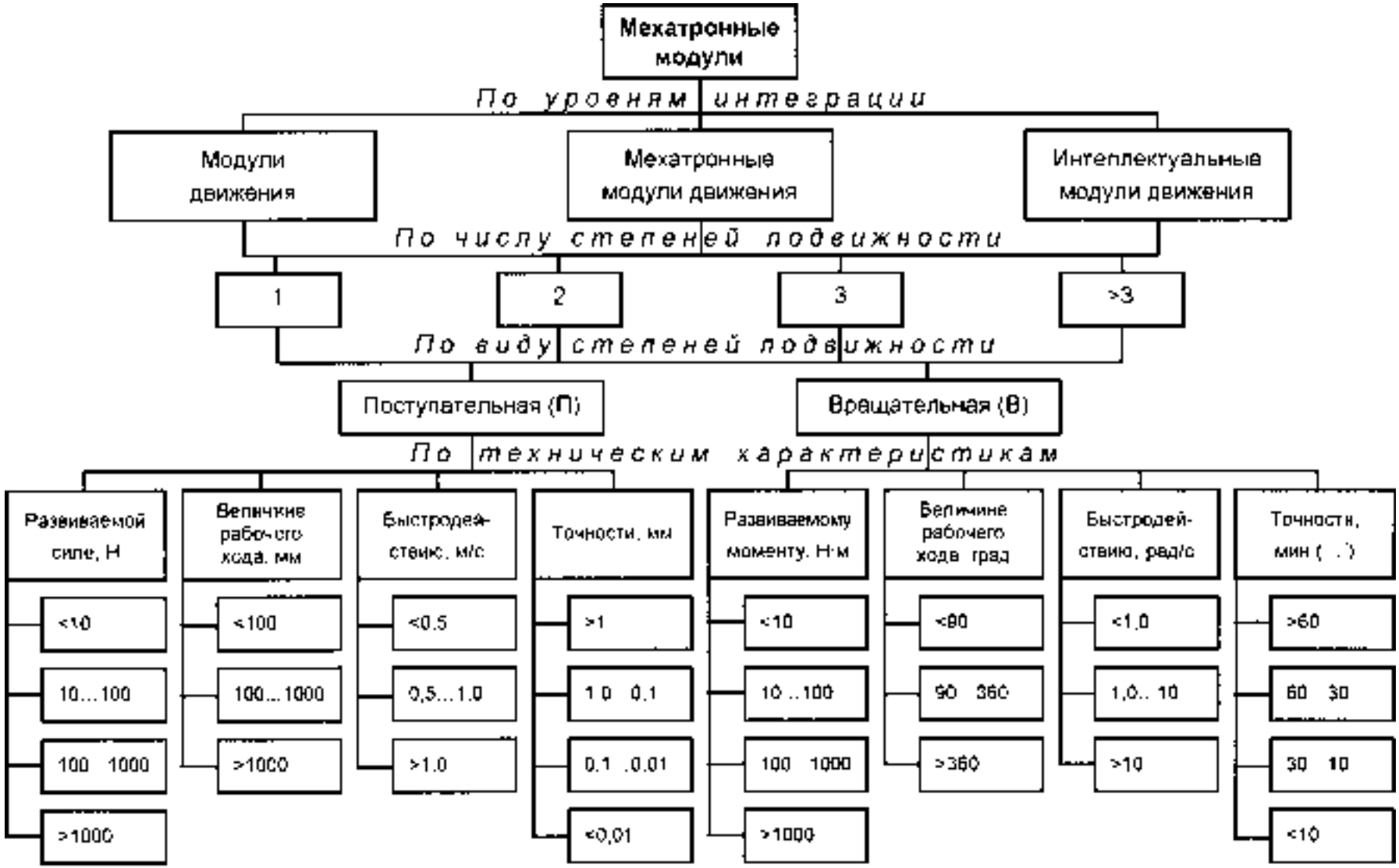


Рис. 1.1. Классификация мехатронных модулей

1.3. ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫЕ МЕХАТРОННЫЕ МОДУЛИ

1.3.1. Модули движения

Главным отличительным признаком МД от общепромышленного привода является использование вала двигателя в качестве одного из элементов механического преобразователя движения. Примеры МД: мотор-редуктор, мотор-колесо, мотор-барабан, электрошпиндель.

Мотор-редуктор объединяет в один компактный конструктивный модуль электродвигатель и преобразователь движения. Эта конструкция получила в настоящее время широкое распространение. Выпускается целая гамма различных типов мотор-редукторов для различных условий применения, позволяющая найти оптимальное решение каждой конкретной задачи.

Хорошо известный в России Санкт-Петербургский научно-технологический центр «Редуктор» (НТЦ «Редуктор») выпускает одно-, двух- и трехступенчатые цилиндрические, цилиндро-червячные, червячные, планетарные и волновые мотор-редукторы на лапах, фланцевые и с полым выходным валом. Широта охвата параметров такова, что конструктор имеет возможность подобрать мотор-редуктор на передаточное число и крутящий момент на выходном валу в диапазонах u = 1,6–4 000 и T_2 = 4–69 300 Н·м соответственно.

Московский научно-технологический центр «Приводная техника» (НТЦ «Приводная техника») выпускает одно- и двухступенчатые червячные, цилиндрическо-червячные и цилиндрические соосные мотор-редукторы. Общие диапазоны параметров: u = 7–10 000; T_2 = 3,9–3 984 Н·м.

Многие зарубежные фирмы, например, *MOTOVARIO*, *VARVEL*, *MAXON* выпускают различные мотор-редукторы. Фирма *MAXON* производит электродвигатели, цилиндрические и планетарные редукторы и на их основе мотор-редукторы, которые при необходимости снабжают фотоимпульсными датчиками, резольверами и тормозами (переводя таким образом в класс ММД).

Блочно-модульная система присоединения к двигателю различных типов планетарных и цилиндрических редукторов, а также магнитных и цифровых фотоимпульсных датчиков показана на рис. 1.2.

Конструктивное объединение двигателя и преобразователя движения в мотор-редуктор имеет ряд преимуществ по сравнению с устаревшей системой соединения двигателя и преобразователя движения через муфту. Это и значи-

тельное сокращение габаритных размеров, и существенное уменьшение количества соединительных узлов и деталей, и снижение затрат на установку, отладку и запуск.

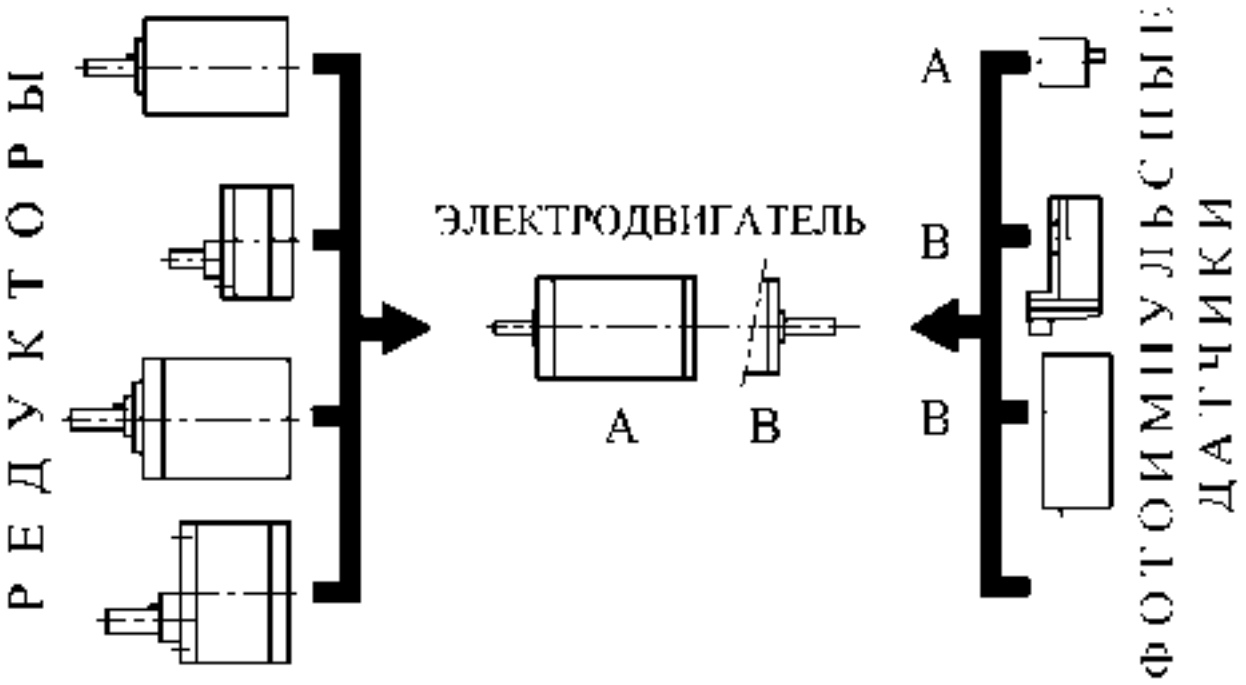


Рис. 1.2. Блочно-модульная система формирования мотор-редукторов:
А, В — исполнения двигателя

Благодаря своим достоинствам мотор-редуктор является в настоящее время одним из наиболее распространенных видов электропривода. Во всем мире выпускают ежегодно миллионы штук мотор-редукторов различных типов и исполнений, что позволяет удовлетворить все мыслимые потребности.

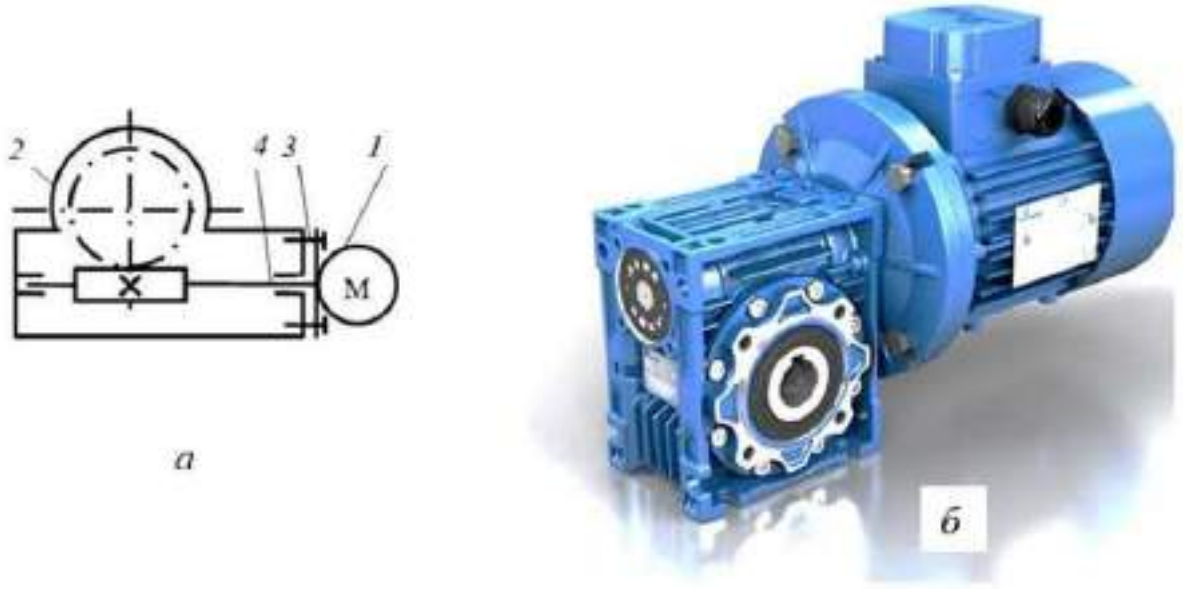
Мотор-редуктор с преобразователем движения в виде соосного цилиндрического редуктора (рис. 1.3) состоит из двух основных элементов: двигателя *1* и редуктора *2*, имеющего стыковочную поверхность *3* с отверстиями для крепления к ней двигателя винтами или болтами *4*. При объединении двигателя и редуктора в единый конструктивный модуль вал *5* двигателя вводят во входной полый вал *6* редуктора и закрепляют шпонкой *7*. Возможен вариант, когда двигатель и редуктор имеют общий вал.

Схема одноступенчатого червячного мотор-редуктора представлена на рис. 1.4. Он состоит из двигателя *1* и червячного преобразователя движения *2*, соединенных в общий корпус винтами *3*. Вал *4* двигателя и преобразователя движения единый.



а *б*

Рис. 1.3. Соосный двухступенчатый мотор-редуктор:
а — схема; *б* — внешний вид



а

Рис. 1.4. Червячный мотор-редуктор:
а — схема; *б* — внешний вид

Внешний вид двухступенчатого червячного мотор-редуктора фирмы *MOTOVARIO* показан на рис. 1.5.

В мотор-редукторах наиболее часто используют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, регулируемые преобразователем частоты вращения вала, однофазные двигатели и двигатели постоянного тока.

В качестве преобразователей движения, как уже было указано, используют зубчатые цилиндрические и конические, червячные, планетарные, волновые, винт-гайка и т.п. передачи.



Рис. 1.5. Двухступенчатый червячный
мотор-редуктор фирмы *MOTOVARIO*

Для защиты мотор-редуктора от действия внезапных перегрузок в его конструкции предусматривают ограничитель крутящего момента. Вариант такого устройства в червячном мотор-редукторе приведен на рис. 1.6.

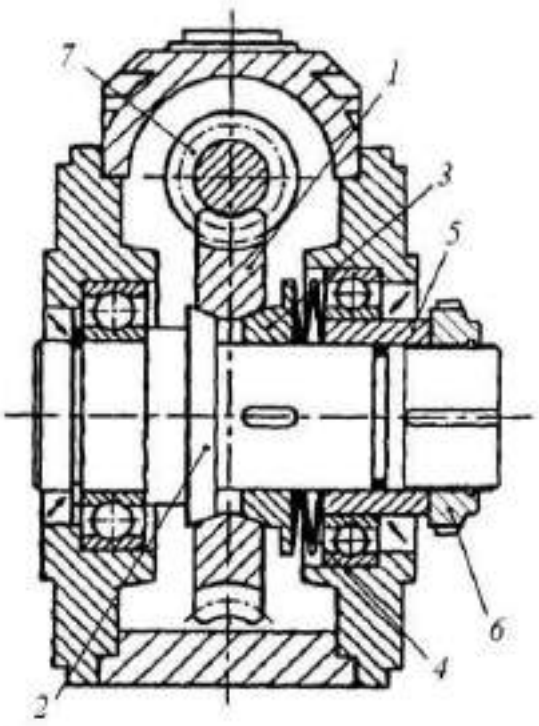


Рис. 1.6. Червячный мотор-редуктор
с ограничителем передаваемого момента

Червячное колесо *1* устанавливают на неподвижный конус *2*, выполненный заодно с выходным валом, и подвижный конус *3*, который поджимают тарельчатой пружиной *4* через подвижную втулку *5* при помощи регулировочной гайки *6* с фиксатором. В зависимости от того, на сколько оборотов завернута регулировочная гайка, возникает соответствующая осевая сила, вызывающая появление момента трения между конусами и червячным колесом (предельного передаваемого момента).

При превышении внешним крутящим моментом на выходном валу *2* его предельного значения червячное колесо *1* начинает проворачиваться и не передает движение на червяк *7*, тем самым предохраняя преобразователь движения и двигатель от повреждения.

Планетарный зубчатый мотор-редуктор изображен на рис. 1.7. Он состоит из асинхронного двигателя *1* и двухступенчатого планетарного зубчатого преобразователя движения *2*, соединенных при помощи винтов *3* в единый корпус.

В преобразователе движения плавающими элементами являются водило первой ступени и солнечная шестерня второй ступени, которые связаны между собой зубчатыми муфтами. Водило второй ступени выполнено заодно с выходным валом преобразователя движения. Сателлиты первой ступени установлены в водилах консольно.

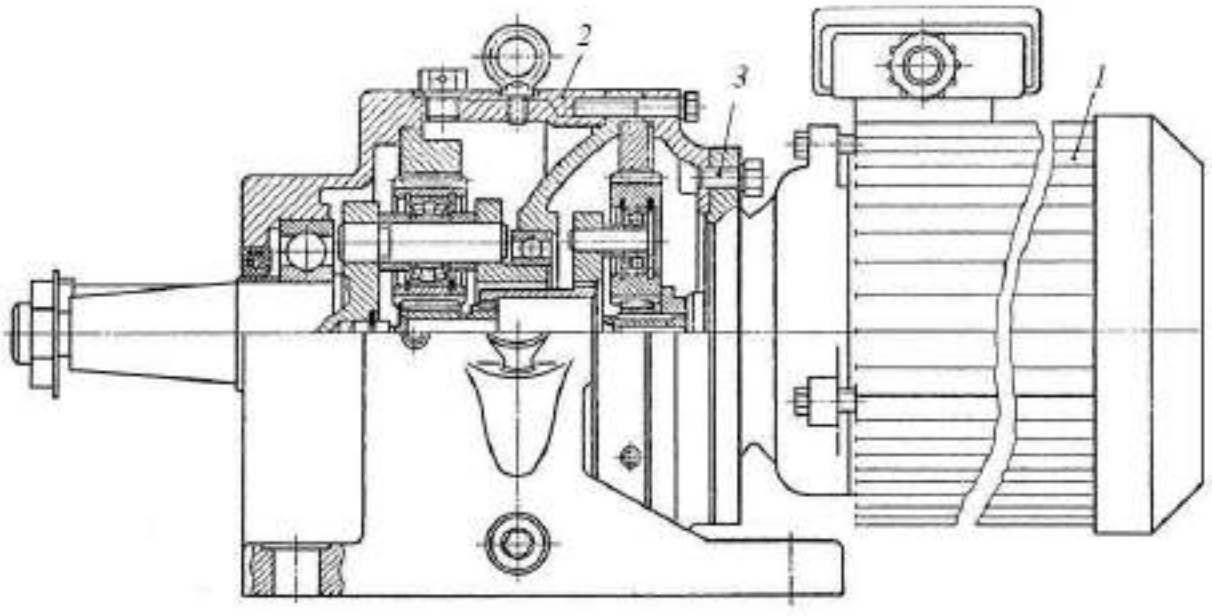


Рис. 1.7. Планетарный двухступенчатый мотор-редуктор

Планетарно-цевочный одноступенчатый мотор-редуктор, состоящий из двигателя *1* и преобразователя движения *2*, соединенных в единый корпус винтами *3*, представлен на рис. 1.8.

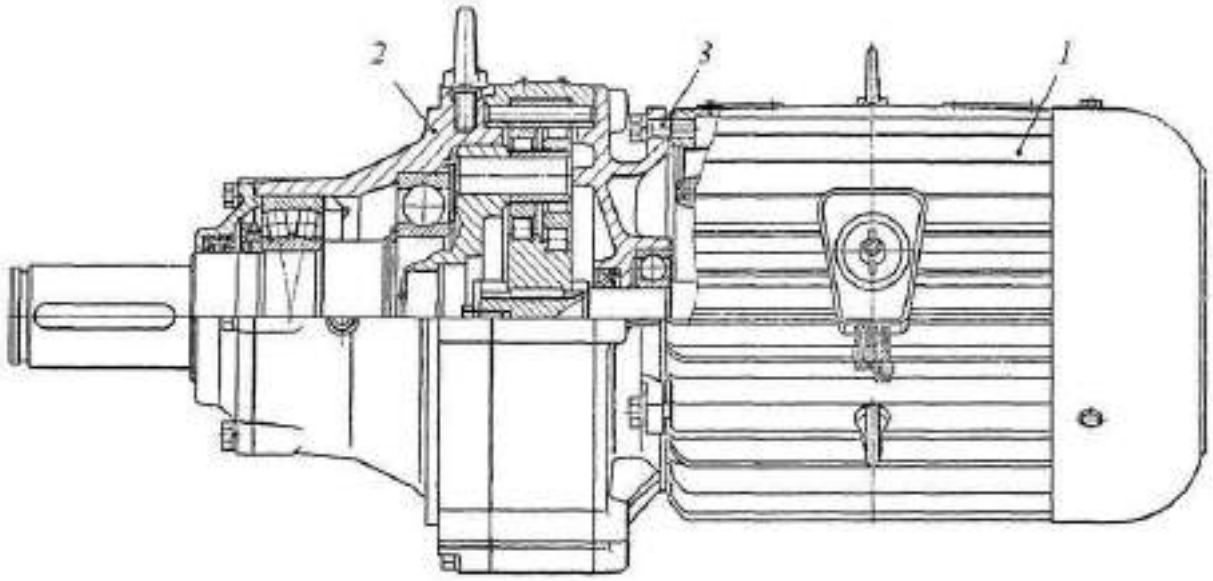


Рис. 1.8. Планетарно-цевочный мотор-редуктор

Мотор-редуктор на основе волнового механизма с электромагнитным генератором волн изображен на рис. 1.9. Он состоит из гибкого колеса *1*, электромагнитного генератора волн *2*, жестких колес *3*, гибких подшипников *4*, кулачков *5*, зубчатого колеса *6* и выходного вала *7*.

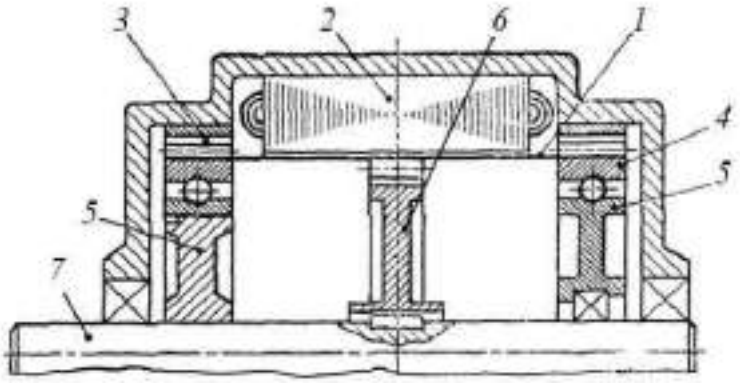


Рис. 1.9. Волновой мотор-редуктор

При работе мотор-редуктора гибкое колесо под воздействием электромагнитного генератора волн входит в зацепление с жесткими колесами. При этом гибкое колесо деформируется синхронно с вращающимся электромагнитным полем и, взаимодействуя с жесткими колесами, вращается относительно корпуса, передавая через зубчатое колесо *6* вращение выходному валу. Кулачки с надетыми на них гибкими подшипниками приходят в движение вместе с гибким колесом. Кулачки можно устанавливать на выходной вал непосредственно

(левый кулачок) или при помощи подшипников качения (правый кулачок). Во втором случае обеспечивается радиальная координация гибкого колеса относительно жесткого, увеличивается надежность, долговечность и повышается коэффициент полезного действия модуля движения.

Подробно планетарные, планетарно-цевочные и волновые редукторы будут рассмотрены в главе 3.

Во многих случаях скорость вращения выходного вала мотор-редуктора должна быть изменяемой. Реализовать это требование возможно применением механических вариаторов, позволяющих регулировать скорость вращения, либо применением электронных устройств, изменяющих скорость вращения двигателя. Каждый из указанных способов имеет свои преимущества и недостатки, и применяют их в зависимости от тех конструктивных и технологических задач, которые необходимо решить. Например, если требуется повысить передаваемый момент на выходном валу, то целесообразно применять конструкцию мотор-редуктора с механическим вариатором. Если же необходимо расширить диапазон регулирования скорости либо сохранить минимальные габариты и массу мотор-редуктора, то предпочтительны частотные преобразователи скорости.

В мотор-редукторах могут быть использованы различные типы вариаторов. При этом изделие получает название *мотор-вариатор-редуктор*.

На рис. 1.10, *а* представлена общая компоновочная схема мотор-вариатор-редуктора, на рис. 10, *б* — внешний вид мотор-вариатор-редуктора *MOTOVARIO*. Двигатель *1*, вариатор *2* и редуктор *3* соединяют фланцами с помощью винтов (болтов) *4*.

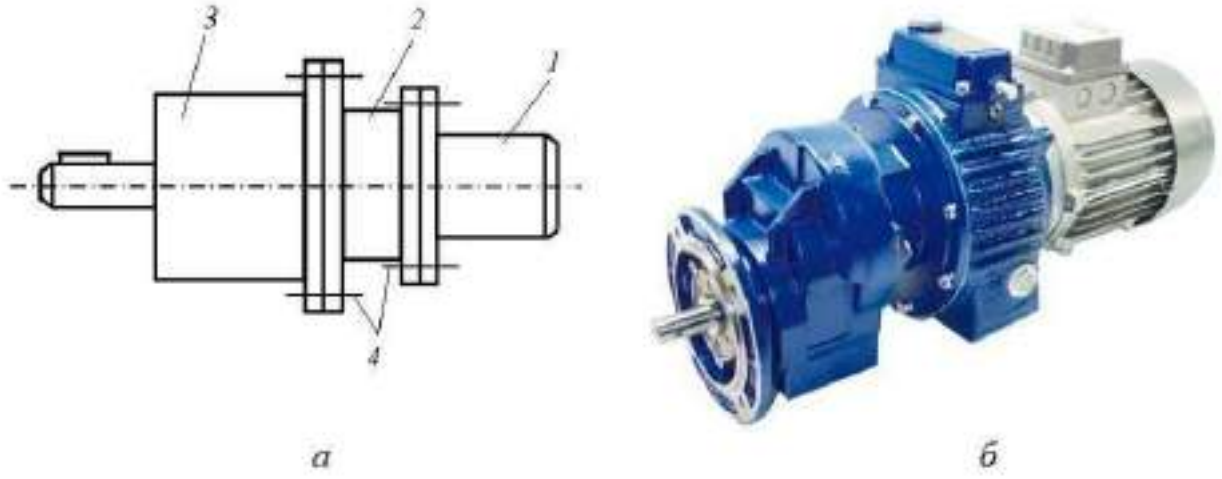


Рис. 1.10. Мотор-вариатор-редуктор:
а — структурная схема; *б* — внешний вид

НТЦ «Редуктор» применяет планетарно-фрикционные вариаторы и производит мотор-вариатор-редукторы: червячные, цилиндрическо-червячные, червячные двухступенчатые, планетарные, цилиндрические соосные, волновые.

Характеристики червячных мотор-вариатор-редукторов приведены в табл. 1.1, планетарных — в табл. 1.2, волновых — в табл. 1.3.

Таблица 1.1

Технические характеристики червячных мотор-вариатор-редукторов

Типоразмер	Диапазон регулирования	Частота вращения выходного вала n_2, об/мин		Мощность двигателя P_1, кВт	
		max	min	max	min
МВЧ-40	6,6	45–12	7–14	0,18	–
МВЧ-63	6,5	11–125	1,8–19	0,75	0,25
МВЧ-80		12,5–12	1,9–19	1,8	0,37
МВЧ-100			1,9–20,6	4,0	0,75
МВЧ-125	6,6		1,9–23,8	7,5	
МВЧ-160			1,9–25	11,0	1,1
МВЧ-200	6,3	12,5–50	2–10		3,0
МВЧ-250	5,4	12,5–32	2–6		5,5

Таблица 1.2

Технические характеристики планетарных мотор-вариатор-редукторов

Типоразмер	Диапазон регулирования	Частота вращения выходного вала n_2, об/мин		Мощность двигателя P_1, кВт	
		max	min	max	min
МВП-25	5,2	4–186	1–30	1,5	0,18
МВП-31,5				3,0	
МВП-35,5				4,0	
МВП-40					
МВП-45				5,5	
МВП-50					
МВП-56				7,5	
МВП-63				9,2	

Типоразмер	Диапазон регулирования	Частота вращения выходного вала n_2, об/мин		Мощность двигателя P_1, кВт	
		max	min	max	min
МВП-71	5,2	4–186	1–30	9,2	0,18
МВП-80					0,25
МВП-91					
МВП-100					
МВП-112					0,37
МВП-125					

Таблица 1.3

Технические характеристики волновых мотор-вариатор-редукторов

Типоразмер	Диапазон регулирования	Частота вращения выходного вала n_2, об/мин		Мощность двигателя P_1, кВт
		max	min	
МВВэ-50	3,5; 5,3; 5,8	8–12,5	1,36–2,1	0,18–5,5
МВВэ-63				
МВВэ-80				
МВВэ-100				
МВВэ-125				
МВВэ-160				
МВВэ-200				
МВВэ-250				
МВВэ-315				

Применение мотор-редукторов в комплекте с частотными преобразователями скорости позволяет посредством изменения скорости вращения вала двигателя осуществлять плавное (бесступенчатое) регулирование скорости выходного вала с сохранением момента.

Подбор типоразмера частотного преобразователя проводят по мощности двигателя. НТЦ «Редуктор» при комплектации мотор-редукторов применяет частотные преобразователи шести фирм: *Verter*, *DELTA ELECTRONICS Inc*, *LG INDUSTRIAL SYSTEMS*, *ADLEE*, *VACON*, НТЦ «Приводная техника».

Конструкция мотор-колеса на основе планетарно-цевочного преобразователя движения типа *K-H-V* представлена на рис. 1.11.

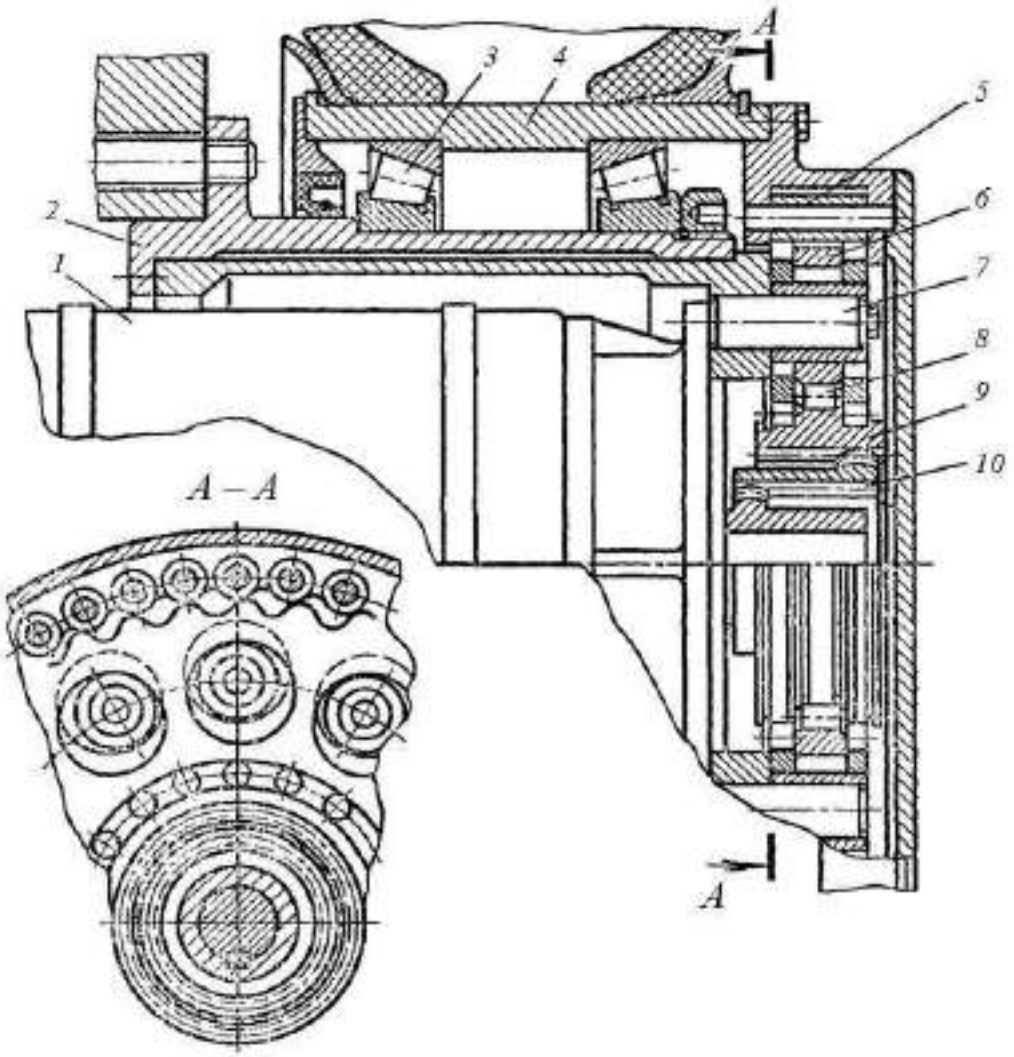


Рис. 1.11. Конструкция мотор-колеса
на основе планетарно-цевочного редуктора

Эксцентрик *9* связан с валом электродвигателя *7* через двойную зубчатую муфту *10*. Для роликов *8* эксцентрик имеет три беговые дорожки. Через сателлит *6* вращение передается цевочному колесу *5* и дальше на ступицу колеса *4*, которая опирается на два конических радиально-упорных подшипника *3*. Механизм параллельных кривошипов *7* установлен в неподвижной ступице *2*. Передача является двухсателлитной, причем один из сателлитов раздвоен и расположен симметрично относительно другого, что исключает неравномерность распределения нагрузки по длине цевок колеса *5*. Эксцентрик *9* выполнен плавающим и не имеет радиальных опор. Конструкция компактна и достаточно проста в сборке и разборке.

Конструкция мотор-барабана для электротали показана на рис. 1.12. Двигатель *1* встроен в барабан *2*. Преобразователь движения планетарный двухступенчатый типа 3К с прямозубыми колесами вынесен за пределы барабана.

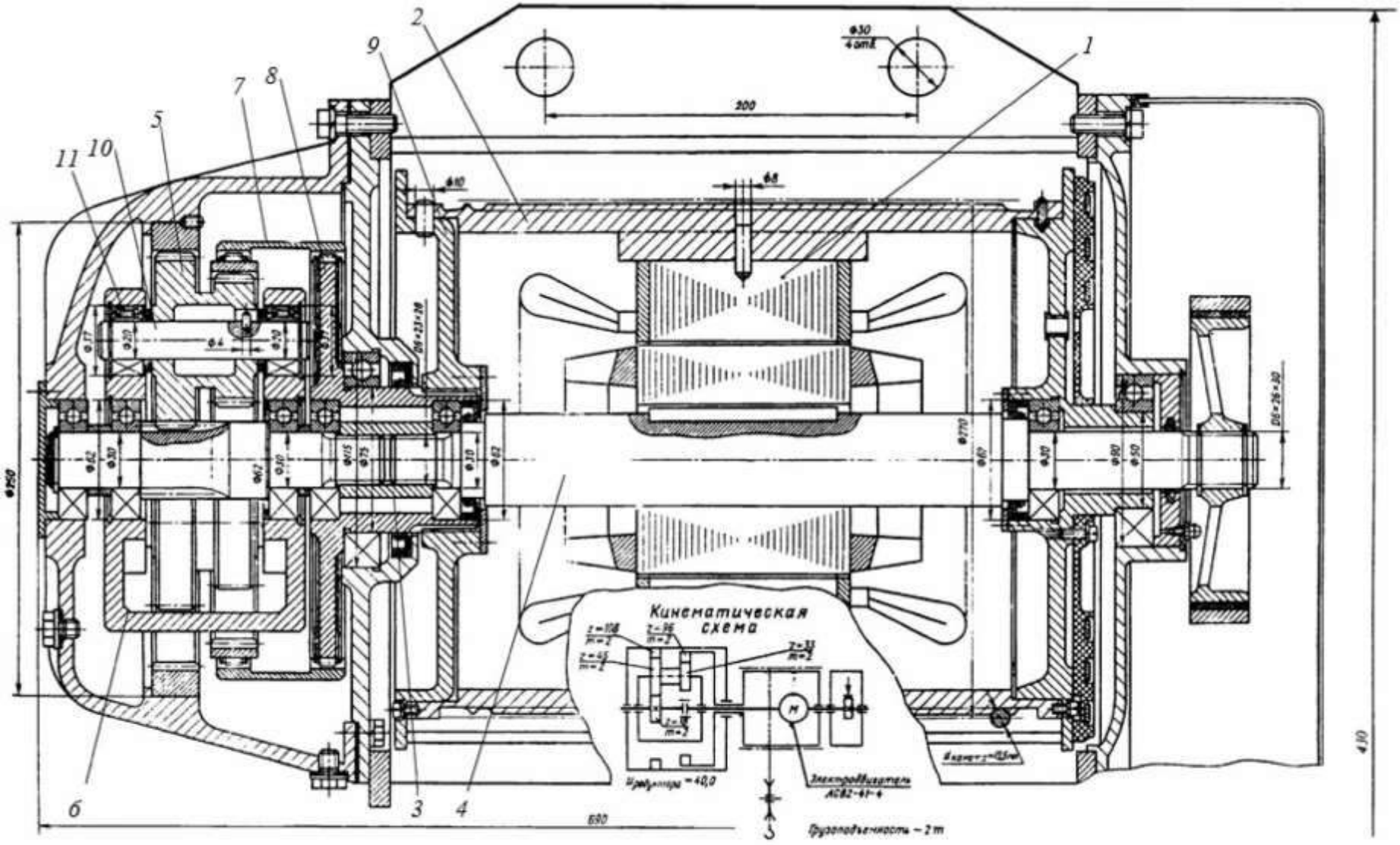
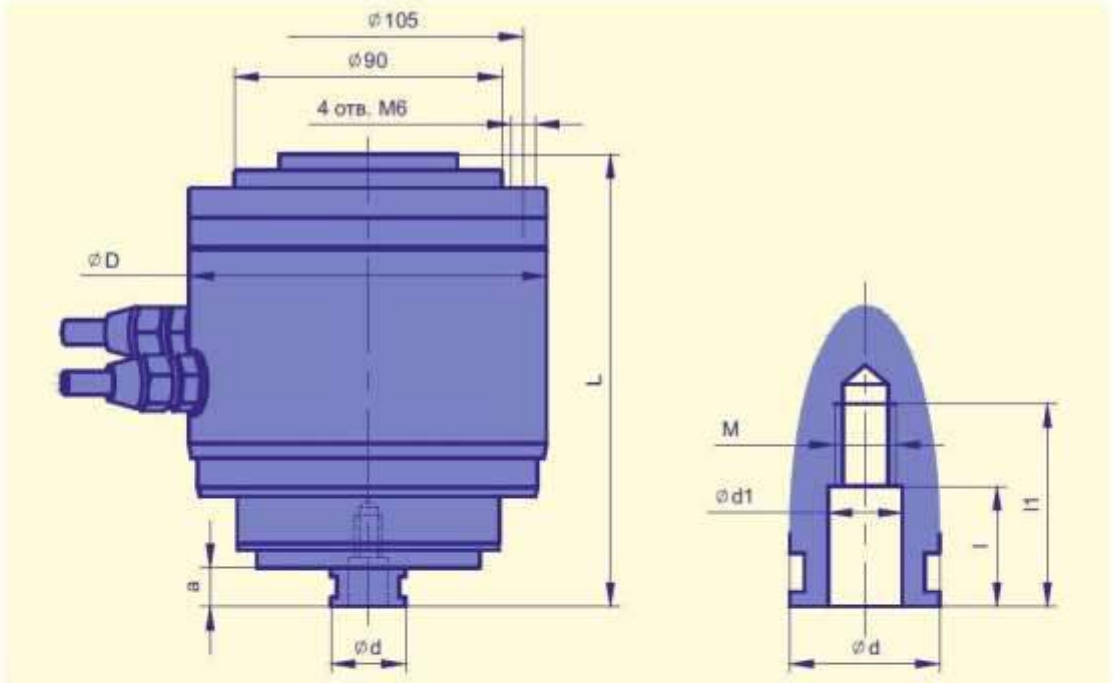


Рис. 1.12. Мотор-барабан электротали

Движение ротора двигателя через зубчатую муфту *3* и входной вал-шестерню *4* преобразователя движения передается блоку *5* сателлитов, который приводит в движение водило *6*, корончатое двухвенцовое колесо *7*, зубчатое колесо *8* и через зубчатую муфту *9* сообщает вращение барабану. Блок *5* сателлитов вращается вместе с осью *10* в игольчатых подшипниках *11*, установленных в щеках водила *6*. Количество сателлитов — три. Передаточное отношение изображенного редуктора равно 40, грузоподъемность тали 20 кН.

В настоящее время выпускают широкую номенклатуру высокоскоростных прецизионных электро- и пневмошпинделей с частотой вращения 9 000–250 000 об/мин, предназначенных для обработки различных металлов и неметаллических материалов шлифованием, фрезерованием, сверлением, а также специального назначения, в том числе для промышленных лазеров.

В качестве примера может быть приведен электрошпиндель типа ШКВ производства ООО «ПИМЕК» (Москва) (рис. 1.13). Этот модуль предназначен для скоростной обработки деталей из полимеров и легких сплавов. Конструктивно электрошпиндель представляет собой мехатронный модуль со встроенным трехфазным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором.



Электрошпиндель	Размеры, мм								Масса, кг
	ØD	L	a	Ød	Ød1	M	l1	l2	
ШКВ 12-24/0,5	Ø120	153	13	Ø25	Ø9	M8	18	35	8,3
ШКВ 24-48/0,5	Ø120	150	12	Ø20	Ø7	M6	16	26	8,3
ШКВ 48-96/0,3	Ø120	125	8	Ø14	Ø5	M4	10	18	6,5

Рис. 1.13. Электрошпиндель типа ШКВ

В обозначении первое число показывает минимальную частоту вращения в тысячах оборотов в минуту, через дефис — максимальную, через косую черту — мощность двигателя в киловаттах.

1.3.2. Мехатронные модули движения

Развитие новых электронных технологий привело к созданию миниатюрных датчиков и электронных блоков для обработки их сигналов. Это позволило ввести в ММД электронные и информационные устройства, наличие которых является главным отличительным признаком ММД от МД.

Современное производство предъявляет к ММД целый ряд требований: высокая точность реализации исполнительных движений; надежность, долговечность; возможность работы при наличии различных видов возмущений и в широком диапазоне температур окружающей среды; значительно меньшие массогабаритные показатели по сравнению с обычным электроприводом. Требования к развиваемым усилиям, точности и скорости исполнительных движений диктуются особенностями автоматизируемых операций, а требование минимизации размеров — необходимостью встраивания модуля в ограниченное пространство. Попытка синтеза ММД из имеющихся в наличии серийно выпускаемых компонентов может привести к технически и экономически неэффективным решениям. Рациональным является проектирование специализированного ММД, наиболее полно отвечающего его служебному назначению.

Сложность и противоречивость требований, предъявляемых к ММД, обусловливает целесообразность мехатронного подхода к их проектированию. В частности, следование принципу синергетической интеграции элементов системы приводит к обеспечению желаемого уровня качества модуля за счет конструктивного и функционального взаимопроникновения его компонентов, многие из которых являются специализированными и создаются в ходе параллельного системного проектирования с учетом их последующего объединения.

Если преобладающим является требование обеспечения компактности, то оно может быть реализовано путем использования бесконтактных электрических машин и их интеграции с преобразователями движения и информационно-измерительными элементами. При этом преобразователи движения и датчики не являются отдельными устройствами, а становятся неотъемлемыми элементами двигателя. Синергетический эффект достигается также за счет выполнения некоторыми компонентами ММД нескольких функций одновременно.

Такие решения позволяют исключить многие механические интерфейсы, упростить и удешевить конструкцию, устранить необходимость механической подгонки и согласования датчика и двигателя.

ММД являются функциональными «кубиками», из которых можно компоновать сложные мехатронные системы.

Примеры ММД: модули на основе электродвигателей углового и линейного движения и различных преобразователей движения (винтовых, червячных, планетарных, волновых и т.п.), безредукторные ММД, безредукторные поворотные столы.

ММ линейного движения выходного звена изображен на рис. 1.14. Он состоит из асинхронного двигателя *1* с полым валом *2*, шарико-винтовой передачи, включающей в себя винт *3*, шарики *4*, составную гайку *5*, соединенную с валом *2*, направляющей *6*, нормально замкнутого электромагнитного тормоза *7*, фотоимпульсного датчика 8 и корпуса *9*.

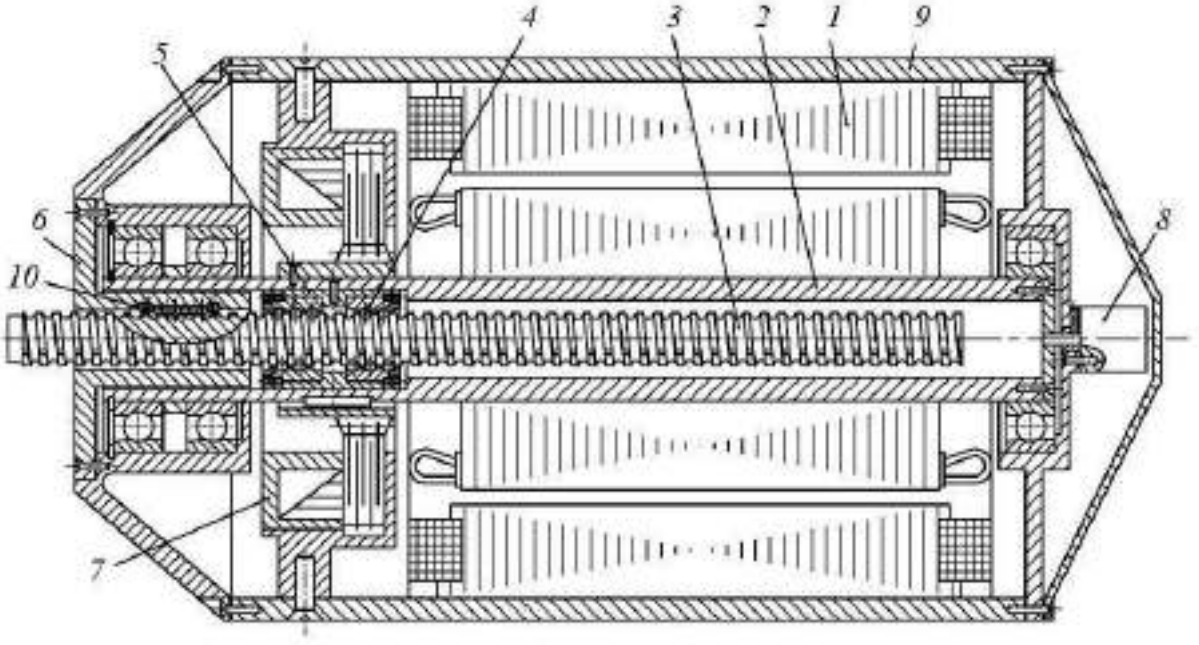


Рис. 1.14. Мехатронный модуль линейного движения

При вращении ротора двигателя *1* вал *2* вращает гайку *5*, которая через шарики *4* вызывает поступательное перемещение винта *3*. Для предотвращения проворачивания и уменьшения трения при перемещении винта *3* в нем сделаны три продольных паза, в которые входят шарики *10* направляющей *6*. Величину перемещения винта *3* фиксирует фотоимпульсный датчик *8*. Электромагнитный тормоз *7*, закрепленный в корпусе *9*, в случае отключения электроэнергии срабатывает и останавливает винт.

Двухстепенной (двухкоординатный) ММД показан на рис. 1.15. Модуль состоит из двух двигателей *1* и *2*, волнового преобразователя движения с неподвижным гибким колесом *3*, подвижным жестким колесом *4* и кулачковым генератором волн *5*, двухступенчатого преобразователя движения, состоящего из конической зубчатой передачи *6–7*, волнового преобразователя движения с неподвижным жестким колесом *8*, подвижным гибким колесом *9* и кулачковым генератором волн *10*, двух фотоимпульсных датчиков *11* и *12*.

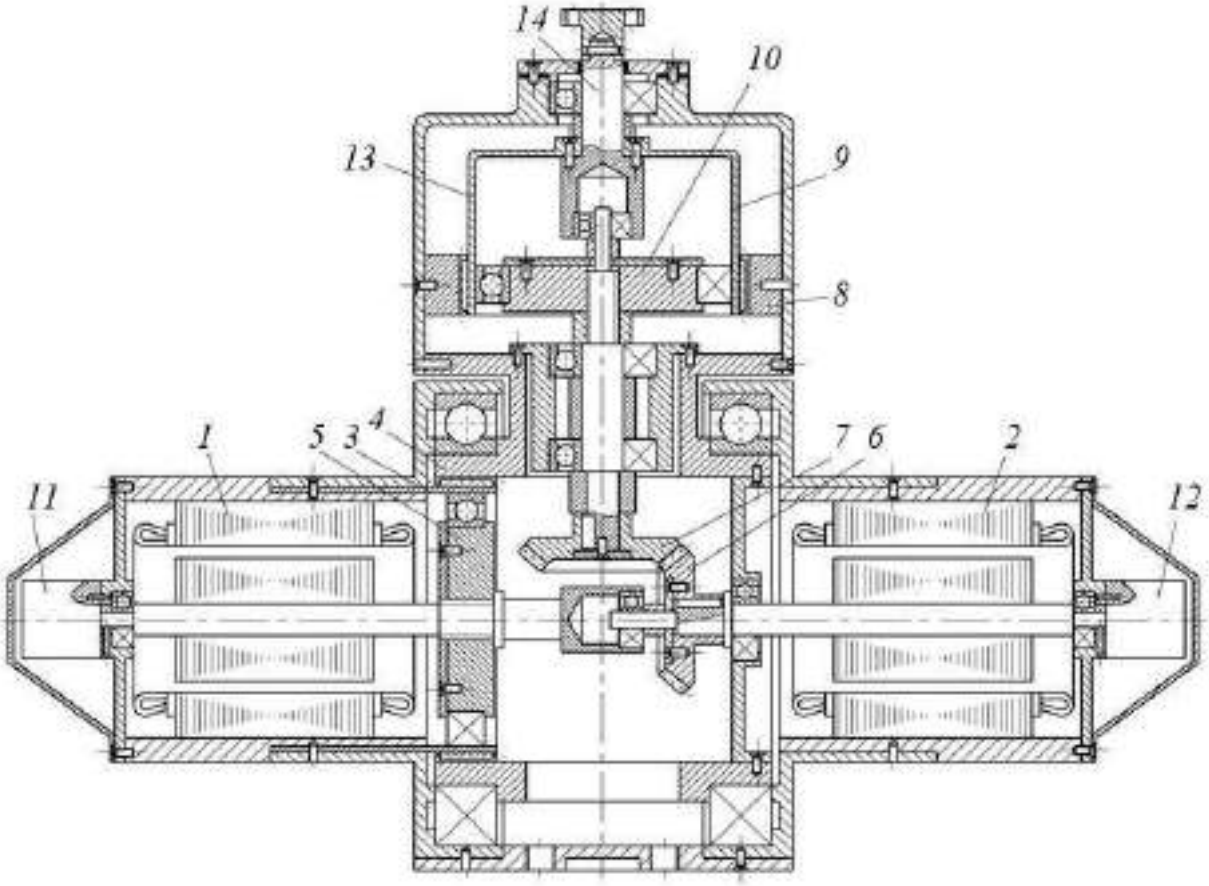


Рис. 1.15. Двухкоординатный мехатронный модуль движения

При включении двигателя *1* генератор волн *5* начинает вращаться и жесткое колесо *4* вместе со связанным с ним корпусом *13* приходит в движение.

При включении двигателя *2* вращение его вала через пару зубчатых колес *6–7* приводит во вращение генератор волн *10*, и гибкое колесо *9* вместе со связанным с ним выходным валом *14* приходит в движение.

Фотоимпульсные датчики *11* и *12* предназначены для определения положения и перемещения корпуса *13* и выходного вала *14* соответственно.

ММД фирмы *MAXON* изображен на рис. 1.16.

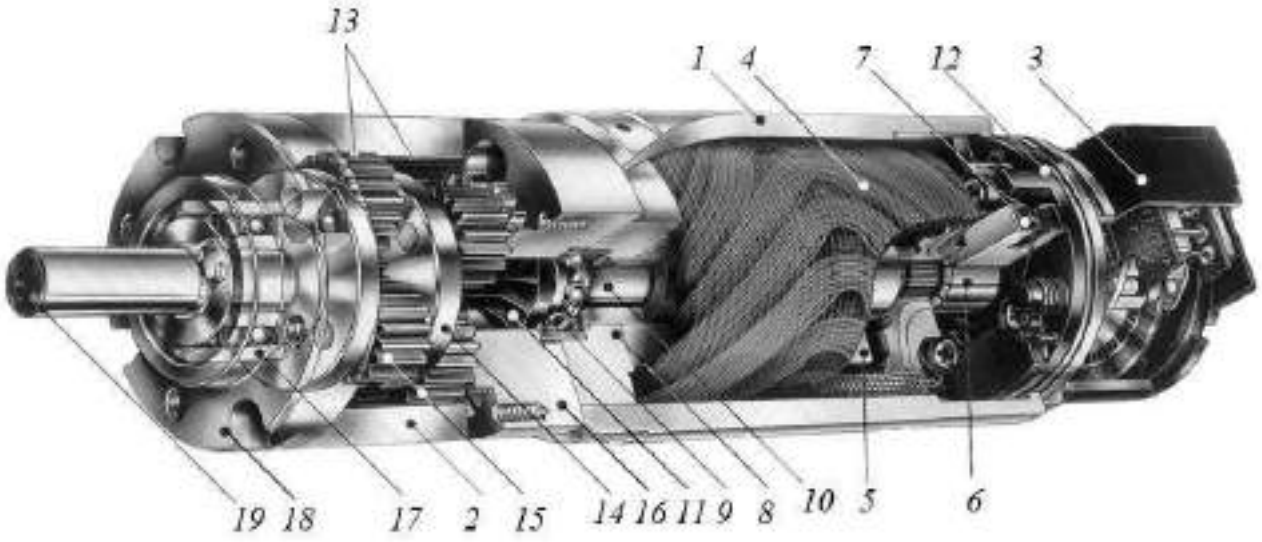


Рис. 1.16. Мехатронный модуль движения фирмы *MAXON*

Он состоит из коллекторного двигателя *1*, двухступенчатого планетарного редуктора *2* и фотоимпульсного датчика положения *3*. Двигатель включает в себя обмотку *4*, магнит *5*, коллектор *6*, щетки *7*, фланец 8, подшипник *9*, вал *10*, заканчивающийся вал-шестерней *11*, и крышку *12*.

Каждая ступень редуктора типа 2К-*Н* с одним внешним и одним внутренним зацеплениями имеет два центральных колеса *11* и *13* (первая ступень), водило *14* и сателлиты *15*. Для установки подшипника *9* имеется специальная монтажная плита *16*. Подшипник *17* закреплен во фланце *18* преобразователя движения, через который проходит выходной вал *19*.

Фотоимпульсный датчик (ФИД) предназначен для определения положения и перемещения выходного вала.

Важнейшим этапом развития ММД стали разработки модулей типа *двигатель — рабочий орган*. Такие конструктивные модули имеют особое значение для технологических мехатронных систем, целью движения которых является реализация целенаправленного воздействия рабочего органа на объект работ. ММД типа двигатель — рабочий орган широко применяют в шлифовальных и фрезерных станках под названием мотор-шпиндели.

Мотор-шпиндель фирмы *Fortuna* (Германия) изображен на рис. 1.17. Он состоит из электродвигателя *1*, передаточного вала *2* с поддерживающим роликом *3* и шпиндельного вала *4*, установленного в подшипниковых опорах *5*.

Фирма *Fortuna* выпускает ряд типоразмеров мотор-шпинделей с диапазоном частот вращения 3 000–21 000 об/мин, мощностями 1,5–18,5 кВт и массами 26–230 кг.

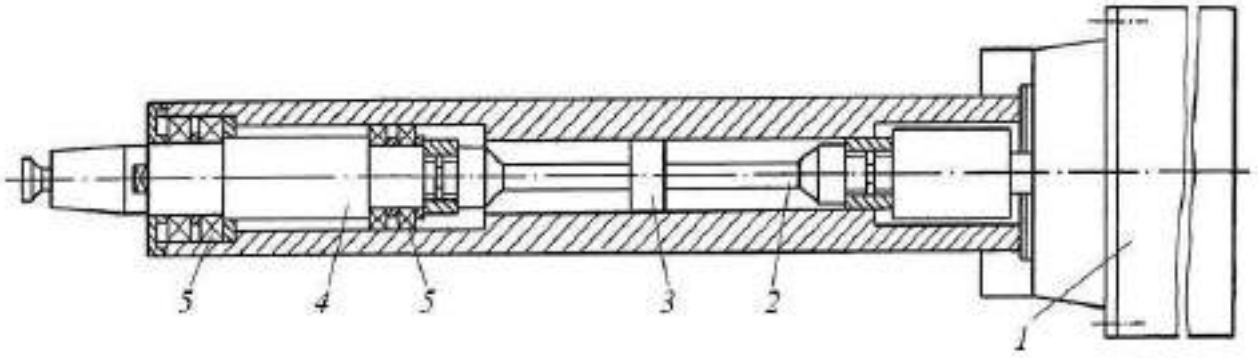


Рис. 1.17. Мотор-шпиндель фирмы *Fortuna*

ММД в виде безредукторного поворотного стола (рис. 1.18) предназначен для обеспечения режимов позиционирования и контурной обработки на фрезерных, сверлильных и расточных станках. Он состоит из основания *1* и собственно поворотного стола *2*, опирающегося на упорные подшипники *3*, встроенного двигателя *4*, ротор *5* которого соединен с планшайбой *6*, датчика *7* положения, датчика *8* скорости и гидротормоза *9*, обеспечивающего фиксацию планшайбы в нужном положении. Безредукторное соединение ротора двигателя с планшайбой позволяет увеличить точность позиционирования стола и расширить его технологические возможности. Одновременно упрощается конструкция стола, уменьшается число деталей, повышается жесткость.

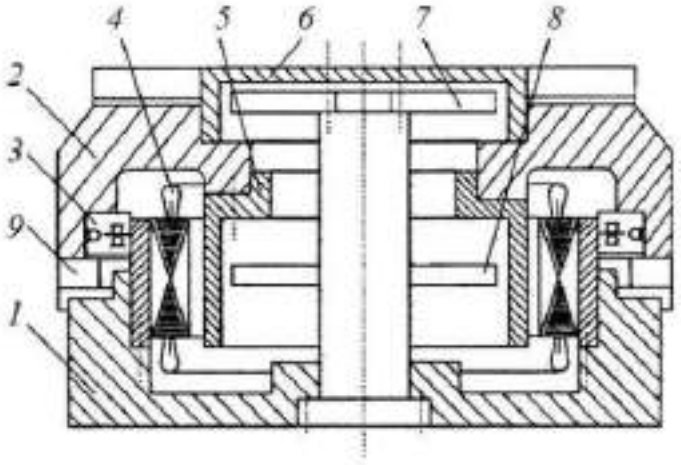


Рис. 1.18. Безредукторный поворотный стол

В табл. 1.4 приведены основные технические характеристики безредукторных поворотных столов.

ММ дают возможность создавать разнообразное технологическое оборудование нетрадиционных компоновок. Одним из представителей такого технологического оборудования является многокоординатный обрабатывающий

центр с перемещающимся по дуге шпинделем, схема которого представлена на рис. 1.19. В этом центре применяются такие ММД, как модуль поступательного перемещения, безредукторный поворотный стол и безредукторный моторшпиндель.

Таблица 1.4

Основные технические характеристики безредукторных поворотных столов

Наименование характеристики	Модель				
	СП 200	СП 320	СП 630	СП 630В	СП 1000
Вращающий момент (30 мин), Н·м	20	300	600	1 500	2 500
Вращающий момент (5 мин), Н·м	40	600	1 200	3 000	5 000
Внешний диаметр, мм	191	398	644	584	930
Высота, мм	170	240	250	200	280
Погрешность позиционирования, угл. с (...")	3				

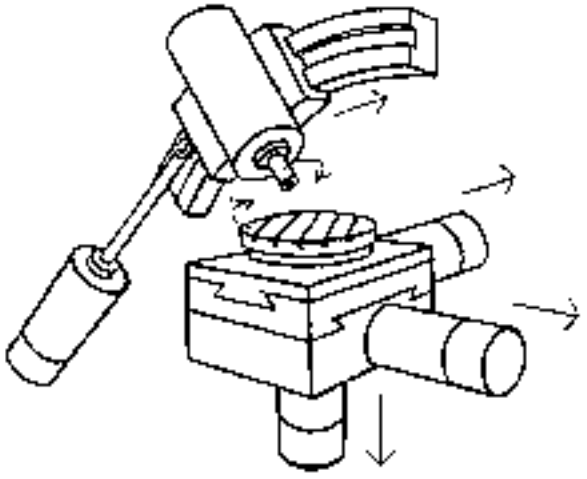


Рис. 1.19. Многокоординатный обрабатывающий центр

В общем случае электроприводной ММД состоит из следующих основных частей (блоков):

двигатель;

– преобразователь движения (в безредукторных ММД отсутствует);

– тормозное устройство, предназначенное для уменьшения скорости подвижного звена, остановки и удержания его в неподвижном состоянии (может отсутствовать);

– люфтовыбирающий механизм, предназначенный для выборки зазора (мертвого хода) в некоторых видах преобразователей движения (может отсутствовать);

направляющие, обеспечивающие заданное относительное движение выходного звена ММ (может отсутствовать);

– информационное устройство, преобразующее контролируемую величину в сигнал, удобный для измерения, передачи, преобразования, хранения и регистрации, а также для воздействия им на управляемые процессы.

Состав ММД иллюстрирует рис. 1.20.

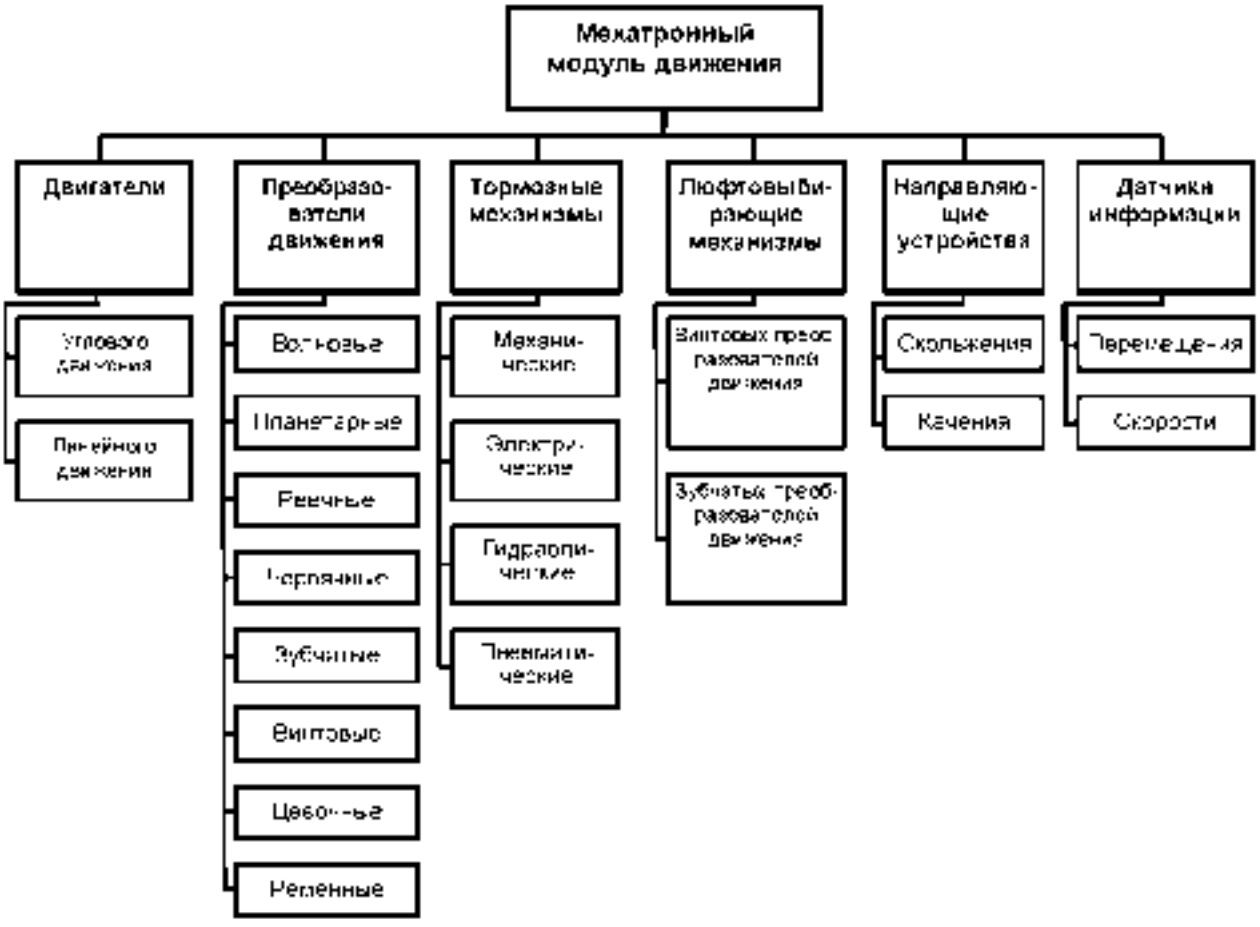


Рис. 1.20. Состав мехатронного модуля движения

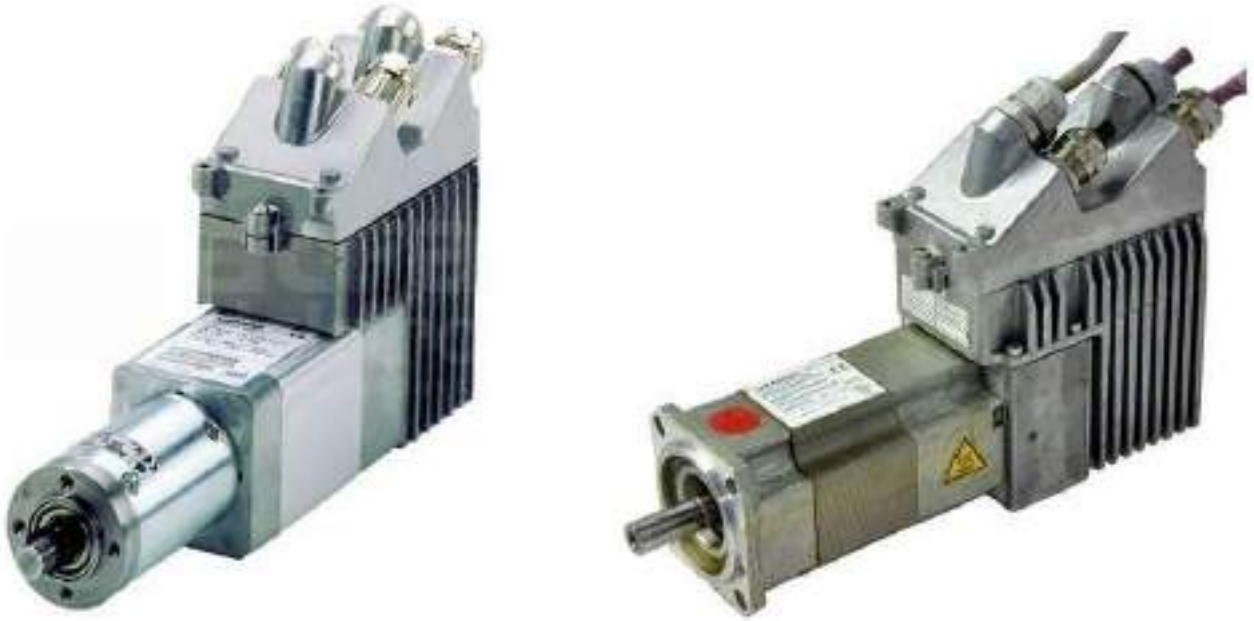
Необходимо учитывать, что конкретные виды блоков не исчерпываются показанными на схеме. В частности, кроме датчиков перемещения и скорости в ММД используют датчики усилия, крутящего момента и т.д.

1.3.3. Интеллектуальные мехатронные модули

Создание ИММ является главной особенностью современного этапа развития мехатроники.

По сравнению с ММД в конструкцию ИММ дополнительно встраивают микропроцессорные вычислительные устройства и силовые электронные преобразователи, что придает этим модулям интеллектуальные свойства и является их главным отличительным от ММД признаком.

На рис. 1.21 изображены ИММ фирмы *SIEMENS SIMODRIVE POSMO A* (рис. 1.21, *а*) и *SIMODRIVE POSMO SI* (рис. 1.21, *б*).



а *б*

Рис. 1.21. Интеллектуальные мехатронные модули фирмы *SIEMENS*:
а — SIMODRIVE POSMO A; б — SIMODRIVE POSMO SI

Синергетическая интеграция названных элементов составляет структурный базис мехатроники. Мехатронная идея синергетической интеграции элементов различной физической природы становится все более популярной среди разработчиков и потребителей наукоемкой продукции. Первые образцы ИММ появились в середине 90-х гг. XX в., и в последние годы их доля на рынке быстро увеличивается. Так, по данным журнала *Packaging Digest* (август 2002), в настоящее время встроенные контроллеры управления движением применяют в 35,1 % мехатронных упаковочных машин, и в течение ближайших 1,5–2 лет

ожидалось увеличение доли машин этого класса на 8–10 %. Аналогичная тенденция наблюдается и в других областях применения мехатронных систем, в частности в автоматизированном машиностроении.

Целесообразность применения ИММ обосновывается следующими факторами:

– способностью ИММ выполнять сложные движения самостоятельно, без обращения к верхнему уровню управления, что повышает автономность модулей, гибкость и живучесть мехатронных систем, работающих в изменяющихся и неопределенных условиях внешней среды;

– упрощением коммуникаций между модулями и центральным устройством управления (вплоть до перехода к беспроводным коммуникациям), что позволяет добиваться повышенной помехозащищенности мехатронной системы и ее способности к быстрой реконфигурации;

– повышением надежности и безопасности мехатронных систем благодаря компьютерной диагностике неисправностей и автоматической защите в аварийных и нештатных режимах работы;

– возможностью создания на основе ИММ распределенных систем управления с применением сетевых методов, аппаратно-программных платформ на базе персональных компьютеров и соответствующего программного обеспечения;

– использованием современных методов теории управления (программных, адаптивных, интеллектуальных, оптимальных) непосредственно на исполнительном уровне и повышением тем самым качества процессов управления в конкретных реализациях;

– интеллектуализацией силовых преобразователей, входящих в состав ИММ, для реализации непосредственно в ММ интеллектуальных функций по управлению движением, защите модуля в аварийных режимах и диагностики неисправностей;

– интеллектуализацией сенсоров для ММ, позволяющей добиться более высокой точности измерения путем обеспечения в самом сенсорном блоке фильтрации шумов, калибровки, линеаризации характеристик вход/выход, компенсации перекрестных связей, гистерезиса и дрейфа нуля.

Основным фактором, сдерживающим использование ИММ в серийных изделиях, является их высокая цена, хотя в последние годы она постоянно снижалась. Это снижение обусловлено:

– бурным развитием аппаратных устройств и информационных технологий, ориентированных на задачи управления движением;

– появлением полупроводниковых приборов нового поколения (силовых полевых транзисторов, биполярных транзисторов с изолированным затвором, тиристоров с полевым управлением);

– переходом на новую элементную базу в системах управления движением, которая создается цифровыми сигнальными процессорами (*DSP*-процессорами) и блоками *FPGA* (*Field Programmable Gate Arrays*);

– разработкой гибридных технологий мехатроники, позволяющих встраивать электронные и вычислительные устройства в механические узлы.

Электроприводной ИММ состоит из следующих основных элементов:

– двигателя;

– преобразователя движения;

– датчиков обратной связи и сенсорных устройств;

– управляющего контроллера;

– силового преобразователя;

– устройств сопряжения и связи.

В современных ИММ используют различные типы двигателей: углового и линейного движения, переменного и постоянного тока, коллекторные и вентильные, непрерывного движения и шаговые.

В качестве преобразователей движения применяют зубчатые, винтовые и другие передачи. В конструкциях некоторых ИММ, построенных на базе высокомоментных двигателей, преобразователи движения отсутствуют.

В ИММ используют различные датчики положения и скорости (фотоимпульсные, вращающиеся трансформаторы, тахогенераторы) и сенсоры (датчики тока и момента, температуры и вибрации), которые передают информацию в устройство компьютерного управления о фактическом состоянии подсистем модуля.

Встроенные управляющие контроллеры, реализованные на современной элементной базе, позволяют получать компактные и надежные мехатронные узлы, обладающие интеллектуальными функциями, и строить на их основе многокоординатные мехатронные системы с децентрализованным управлением. В сочетании с открытой архитектурой систем управления типа *PC-NC* это позволяет создать качественно новые системы управления, обладающие радикально лучшими характеристиками по быстродействию, точности и функциональной гибкости.

Принципиально важно, чтобы все перечисленные элементы были конструктивно объединены в едином корпусе, чтобы сделать устройства связи внутренними блоками, недоступными для пользователя.

Следует подчеркнуть, что сущность ИММ определяется не типом структурных элементов, использованных в данной конструкции, а в первую очередь их функциональным назначением.

Одним из исторически первых ИММ является модуль *SmartMotor* американской фирмы *Animatics Corp.*, который появился на рынке в 1994 г.

Он создан на базе стандартного двигателя диаметром 60 мм, в задней части корпуса которого дополнительно были установлены ФИД, усилитель, 32-битовый программируемый контроллер и устройство связи с сетью. Модуль универсальный, может быть использован в мехатронных системах различного назначения. Производитель подчеркивает, что на 70 % модуль состоит из стандартных элементов, что позволило снизить его стоимость и обеспечить высокую надежность. Пользователь может самостоятельно выбрать режим управления (по положению, скорости или ускорению), а также использовать алгоритмы компьютерного управления, компенсирующие влияние люфта в преобразователях движения на динамические характеристики модуля.

Фирма *SIEMENS*, как уже было сказано, выпускает ИММ *SIMODRIVE POSMO A*, состоящие из следующих элементов:

- вентильного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов;
- планетарного или червячного редуктора (возможен безредукторный ИММ);
- тормозного устройства (может отсутствовать);
- встроенного ФИД;
- силового преобразователя, закрепленного на крышке двигателя;
- комплектного управляющего устройства, включающего регулятор двигателя, блоки позиционирования и программирования, а также коммуникационный интерфейс для подключения в среде *PROFIBUS*.

Отличительной особенностью конструкции является съемная крышка для подключения силового преобразователя, которая содержит интегрированный переключатель адреса шины *PROFIBUS* и тормозной резистор, что позволяет при необходимости отключить двигатель без разрыва коммуникационных и силовых (по питанию) связей в других устройствах. Благодаря объединению коммуникационной и силовой шин достигается упрощение внутренней структуры модуля и обеспечивается его компактность.

Управление модулем осуществляют по стандартной шине *PROFIBUS*, при этом возможны следующие режимы движения:

- перемещение в конечную позицию с программно заданной скоростью и регулируемым ускорением;
- движение с регулируемой частотой вращения вала и регулируемым ускорением.

Оператор с помощью специального программного обеспечения может задавать в программе движения временные или логические условия, использовать методы компенсации зазора (люфта), получать сообщения о текущем положении и диагностике состояния модуля.

Технические данные модулей *SIMODRIVE POSMO A* указаны в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Технические характеристики ИММ *SIMODRIVE POSMO A*

Мощность двигателя, Вт	75	300
Напряжение питания, В	24	48
Тип двигателя	С возбуждением от постоянных магнитов бесщеточный серводвигатель	
Номинальная частота вращения вала двигателя, об/мин	3 300; 2 000	3 500; 3 000
Номинальный момент двигателя, Н·м	0,18; 0,36	0,48; 0,95
Номинальный ток двигателя, А	4,5; 9	5; 10
КПД двигателя, %	65	75
Момент инерции двигателя, кг·м^2	$6 \cdot 10^{-2}$	$6{,}3 \cdot 10^{-2}$
Масса модуля, кг:		
без редуктора	3,1	3,9 (4,0)
с 1-ступенчатым зубчатым редуктором	3,5	5,1 (5,2)
с 2-ступенчатым зубчатым редуктором	3,7	5,4 (5,5)
с 3-ступенчатым зубчатым редуктором	3,9	–
с червячным редуктором	3,5	–
Примечание. Значения в скобках — масса модуля с тормозом.		

ИММ *SIMODRIVE POSMO SI* фирмы *SIEMENS* предназначен для реализации движений по одной управляемой координате при децентрализованном управлении мехатронной системой.

В состав модуля входят следующие элементы:

– вентильный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов (напряжение питания 600 В);

– преобразователь движения и тормозное устройство;

– блок силовой электроники;

– встроенный ФИД;

– вентилятор для принудительного охлаждения;

– управляющее устройство, включающее в себя управляющий контроллер, блоки позиционирования и программирования, а также коммуникационный интерфейс для шины *PROFIBUS*.

Типоряд ИММ *SIMODRIVE POSMO SI* включает в себя модули с двигателями мощностью 2,1–6 кВт и частотой вращения 3 000 об/мин, способные создавать на выходном валу максимальные крутящие моменты 4–12 Нм. Массы модулей находятся в диапазоне 12–26,3 кг.

Функциональные возможности модуля:

– позиционирование по одной оси с возможностью свободного программирования последовательности движений;

– использование в качестве ведомого устройства (*Slave*) в сети *PROFIBUS-DP* с быстрым циклическим обменом данными с ведущим устройством (*Master*);

– интерполяционный вид движения совместно с другими приводами, обеспечиваемый иерархической системой управления с контроллером движения и шиной *PROFIBUS-DP*;

– встроенная система измерения абсолютных значений перемещений;

– быстрый ввод в эксплуатацию всех приводов на шине *PROFIBUS-DP* с помощью специальной программы *SimoCom U*, работающей под *Windows* 95/98/*NT*.

Фирма *SIEMENS*, производитель данных модулей, отмечает их следующие достоинства:

– размещение модуля непосредственно в машине позволяет минимизировать затраты потребителя на стойку управления;

– быстрая инсталляция машины благодаря установке модуля и объединению коммуникационных и силовых шин;

– непосредственное подключение сигналов с помощью 4 клемм, которые настраиваются как входы или выходы, установка удобной для использования модульной штекерной техники и стандартных кабелей;

– вставляемая крышка подключений с интегрированным переключателем адреса *PROFIBUS-DP* позволяет отключать модуль или приводной контур без прерывания других связей;

– быстрая диагностика с помощью светодиодов, показывающих неисправность и готовность к работе, передачи информации по шине *PROFIBUS-DP* и использования специальной программы *SimoCom U*;

– быстрая замена модулей с помощью карты памяти (*Memory Card*).

1.4. ГИДРОПРИВОДНЫЕ МЕХАТРОННЫЕ МОДУЛИ

Типичными ММ с гидроприводом являются следящие и шаговые модули.

Электрогидравлический следящий ММ представляет собой моноблок, который состоит из гидродвигателя вращательного или поступательного движения, дросселирующего распределителя с электроуправлением, регулирующих и управляющих аппаратов, а также электрических датчиков обратной связи [6].

Примеры следящих мехатронных модулей — поворотный следящий привод СП и привод поступательного движения ПЭГС.

Поворотный следящий привод СП (рис. 1.22) предназначен для осуществления возвратно-вращательных движений в пределах угла 270° в соответствии с программой, поступающей на вход управляющего устройства в виде электрических сигналов.

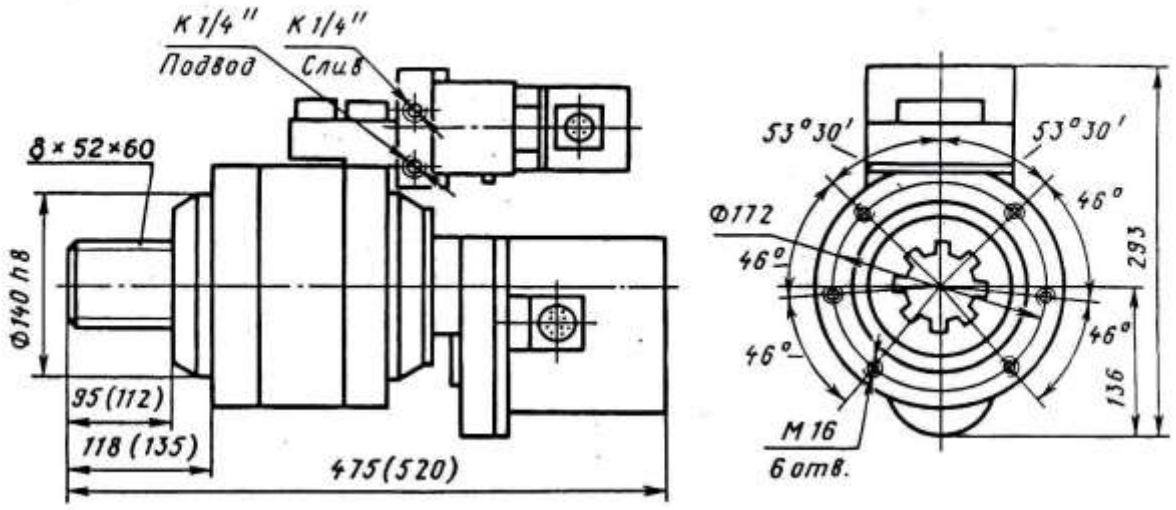


Рис. 1.22. Электрогидравлический следящий привод СП
(размеры без скобок — для СП1 и СП2, в скобках — для СП3)

Приводы комплектуются моментными гидроцилиндрами ДПГ (см. п. 2.2.2), электрогидравлическим усилителем мощности на базе дросселирующего распределителя, дросселем, предохранительными клапанами, датчиком обратной связи, соединенным с выходным валом через мультипликатор.

Основные технические параметры приводов — см. табл. 1.6.

Привод электрогидравлический ПЭГС предназначен для возвратно-поступательного перемещения рабочих органов машин в соответствии с программой, поступающей на вход управляющего устройства в виде электрических сигналов.

Таблица 1.6

Основные параметры электрогидравлических следящих приводов СП

Параметр	СП1	СП2	СП3
Номинальный крутящий момент, Н·м	500	1 250	2 000
Номинальное давление, МПа	6,3	12,5	
Максимальный расход, $дм^3/мин$	15		17
Максимальная угловая скорость, $с^{-1}$	2,094		1,745
Максимальная угловая погрешность позиционирования	± 5′	± 8′	± 10′
Масса, кг	56		63

Привод ПЭГС содержит гидроцилиндр, электроуправляемый дросселирующий распределитель, запирающий гидроагрегат (гидрозамок), блок датчиков и люфтовыбирающее устройство.

Электрогидравлические шаговые приводы (модули) были разработаны в конце 50-х гг. прошлого века в СССР и сразу получили широкое распространение в отечественном и зарубежном машиностроении как устройства для точного перемещения рабочих органов агрегатов с числовым программным управлением. В нашей стране созданы три типоряда приводов: ЭМГ18-1, Э32Г18-2 и 1,5-2Г18-3.

Основные параметры приводов ПЭГС приведены в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Основные параметры электрогидравлических приводов ПЭГС

Параметр	ПЭГС-6	ПЭГС-8	ПЭГС-8М	ПЭГС-9/1
Номинальное рабочее усилие, кН	16	20		
Номинальный расход, $дм^3/мин$	40		20	40
Номинальное давление, МПа	16		12,5	16
Максимальная скорость, м/с	0,6	0,45	0,18	0,45
Ход штока, мм	500	630	270	1 000
Погрешность позиционирования, мм	± 0,75		± 0,6	± 0,75
Масса, кг	31	38	35	42

Шаговый привод ЭМГ18-1 (рис. 1.23) состоит из аксиально-поршневого гидромотора типа Г15-2 (см. п. 2.2.2), следящего устройства в виде кранового золотника и шагового электродвигателя типа ШД-4. Вал гидромотора *1* муфтой *2* связан со втулкой *3*, внутри которой расположен крановый золотник *4*, соединенный с валом шагового двигателя. Каналами в корпусе втулка и крановый золотник сообщаются с напорной и сливной линиями гидросистемы, а также с рабочими камерами гидромотора (каналы I и II). В нейтральном положении (разрез *А-А* на рис. 1.23) золотник *4* перекрывает каналы во втулке *3*, и жидкость в гидромотор не поступает.

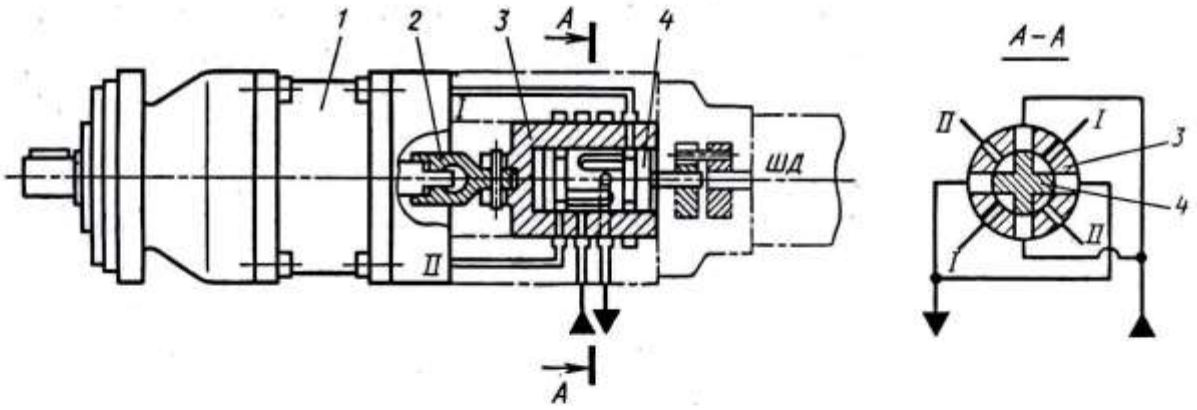


Рис. 1.23. Схема электрогидравлического шагового привода ЭМГ18-1

В шаговый двигатель подается импульсный ток. Каждый импульс обеспечивает поворот его вала вместе с крановым золотником на определенный угол (*шаг*, или *угловую дискрету*), чаще всего равный 1,5°. Золотник при этом открывает напорную и сливную линии, соединяя напорную линию с каналом I, а сливную — с каналом II (или наоборот, в зависимости от направления вращения вала шагового двигателя). Вал гидромотора поворачивается вместе со втулкой *3* до тех пор, пока напорная и сливная линии снова не окажутся перекрытыми золотником *4*, т.е. на угол, равный угловой дискрете шагового двигателя. Другими словами, частота вращения гидромотора равна частоте вращения шагового двигателя, и направление вращения вала гидромотора соответствует направлению вращения вала шагового двигателя. По отношению к шаговому двигателю гидромотор является гидравлическим усилителем мощности и крутящего момента.

Конструкция *шагового привода Э32Г18-2* отличается от ЭМГ18-1 тем, что в ней использован дросселирующий золотник с осевым перемещением, связанный с валом шагового двигателя кинематической парой винт-гайка.

Отличие *шагового привода 1,5-2Г18-3* от Э32Г18-2 состоит в том, что он снабжен регулируемым гидромотором и системой автоматического изменения его рабочего объема, которая обеспечивает ускоренное вращение вала при уменьшении нагрузки.

В табл. 1.8 приведены основные технические данные электрогидравлических шаговых приводов ЭМГ18-1, Э32Г18-2 и 1,5-2Г18-3 (взяты по два привода из каждого типоряда).

Таблица 1.8

Основные параметры электрогидравлических шаговых приводов

Параметр	**ЭМГ18-12Н**	**ЭМГ18-15Н**	**Э32Г18-22**	**Э32Г18-25**	**1,5-2Г18-32**	**1,5-2Г18-35**
Рабочий объем, $дм^3$	0,02	0,16	0,02	0,16	0,01–0,02	0,08–0,16
Максимальная частота вращения, об/мин	200		2 000	1 000	4 000	2 000
Номинальный крутящий момент, Н·м	11	92	11	92	5–11	40–92
Максимальный расход, $дм^3$/мин	4	32	40	160	40	160
Максимальная угловая погрешность позиционирования	± 1,4°	± 0,8°	± 1,2°			
Масса, кг	16	64	15,5	57	26,5	64
Примечание. Номинальное давление 6,3 МПа.						

Контрольные вопросы

1. Что такое модуль движения, мехатронный модуль движения, интеллектуальный мехатронный модуль?
2. Что такое преобразователь движения?
3. В чем суть синергетической интеграции?
4. Какие компоненты входят в состав мехатронного модуля движения?
5. Какие виды привода используются в мехатронных модулях?
6. Какие компоненты входят в состав электрогидравлического следящего привода?

2. ДВИГАТЕЛИ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

2.1. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

2.1.1. Электродвигатели углового движения

В ММ применяют различные типы двигателей углового движения: постоянного тока, синхронные и асинхронные переменного тока.

Наиболее простым в управлении является *двигатель постоянного тока*, так как при постоянном значении магнитного потока регулирование момента производят только изменением величины тока.

Синхронный двигатель (иногда его называют вентильным) состоит из синхронной электрической машины, датчика положения ротора и электронного устройства управления.

Управление синхронным двигателем сложнее, поскольку при фиксированном значении магнитного потока, кроме регулирования величины тока, необходимо также регулировать величину пространственного угла, добиваясь получения требуемого значения момента.

Наиболее сложным в управлении является *асинхронный двигатель*. Управление им требует регулирования тока статора при поддержании постоянства магнитного потока и пространственного угла для получения максимального значения развиваемого момента.

По большинству других характеристик, и прежде всего по массогабаритным показателям, двигатели переменного тока превосходят двигатели постоянного тока.

При выборе двигателя постоянного тока необходимо учитывать его форму, так как она в значительной мере определяет геометрические параметры ММ. По конструктивному исполнению различают два вида двигателей: классическую форму ($L/D \geq 2$) и дисковую ($L/D \leq 1$), где L — длина двигателя, D — диаметр его корпуса. Форма двигателя зависит от конструкции якоря и вида встроенных датчиков. Известны три вида конструктивного исполнения якорей двигателей постоянного тока: классический, гладкий и малоинерционный. Вид якоря определяют по наличию на нем паза (классический) или отсутствию паза (гладкий) и выполнению якоря полым или дисковым (малоинерционный).

По способу подведения напряжения в обмотку якоря двигатели постоянного тока делят на коллекторные и бесконтактные (вентильные).

Двигатели с классическим якорем имеют относительно небольшой диаметр якоря при значительной его длине. Следовательно, классическая (удлиненная) форма двигателя обусловлена конструкцией якоря. Эти двигатели надежны, обладают большой прочностью и теплоемкостью. К ним относят, например, коллекторные двигатели с обмоткой возбуждения серий Д и СД, с возбуждением от постоянных магнитов серий ДП и ДПМ и т.п.

У двигателей серий Д и СД, например, Д-25Г, СД-150 цифры 25 и 150 в их обозначении указывают значение номинальной мощности, Вт. В обозначении двигателей серии ДПМ мощностью свыше 100 Вт, например ДПМ-1,6, цифры обозначают величину номинального момента, Нм, а мощностью менее 100 Вт, например ДПМ-25, — наружный диаметр корпуса, мм.

Двигатели с малоинерционным полым якорем имеют классическую (удлиненную) форму. В них постоянные магниты могут находиться как внутри ротора, так и снаружи. В последнем случае момент инерции вращающихся частей меньше, чем при расположении магнитов внутри ротора.

Эти двигатели обладают более высоким КПД и большим быстродействием по сравнению с двигателями с классическим якорем.

Двигатели с малоинерционным дисковым якорем имеют форму короткого цилиндра, длина которого меньше диаметра. Якорь у таких двигателей представляет собой закрепленный на валу тонкий немагнитный диск.

Возбуждение такого двигателя обычно создается постоянными магнитами (реже обмотками возбуждения), расположенными в торцевой плоскости, так что двигатель имеет не цилиндрический (радиальный) воздушный зазор, а плоский (аксиальный), вследствие чего уменьшается осевой габарит двигателя.

Дисковые двигатели обладают большим быстродействием, чем классические, так как их вращающаяся часть имеет малый момент инерции. При этом кратность пускового момента у них выше (до 10), чем у классических.

У двигателей с дисковым якорем существует проблема отвода тепла, так как тепловая постоянная якоря относительно мала. Поэтому ММ с двигателями с дисковым якорем рекомендуют устанавливать на металлическом основании или осуществлять принудительную их вентиляцию.

Условное обозначение коллекторного двигателя серии ДП с дисковым якорем с проволочной обмоткой, выведенной на коллектор, и возбуждением от постоянных магнитов, например, ДП125-60-3-24 расшифровывают следующим образом: 125 — диаметр корпуса, мм; 60 — номинальная мощность, Вт; 3 — частота вращения вала, тыс. об/мин; 24 — напряжение питания, В. В дви-

гателях с дисковым якорем с печатной обмоткой и возбуждением от постоянных магнитов серии ПЯ, например ПЯ-50, цифра 50 указывает номинальную мощность, Вт. Двигатели серии ПЯ снабжены встроенным тахогенератором.

Коллекторные двигатели постоянного тока обладают малым сроком службы, повышенной чувствительностью к воздействиям окружающей среды, искрением под щетками, образованием щеточной пыли. Эти недостатки связаны с наличием скользящего контакта в щеточно-коллекторном узле.

У *бесконтактных двигателей* механический коллектор заменен бесконтактным переключателем (коммутатором) на полупроводниковых приборах. Коммутатор управляется датчиком положения ротора. Габаритные размеры и масса двигателя несколько увеличиваются, но значительно повышаются его надежность и долговечность по сравнению с коллекторными двигателями.

Бесконтактный двигатель содержит синхронную машину и датчик углового положения ротора. Бесконтактный двигатель постоянного тока имеет инверсное (обращенное) исполнение, т.е. обмотка якоря расположена в пазах статора, а на роторе размещены постоянные магниты с одной или двумя парами полюсов.

В качестве датчиков положения ротора применяют сельсины, синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы (резольверы), датчики Холла.

При дискретном способе управления используют цифровые датчики положения.

Срок службы современных бесконтактных двигателей не менее 10 000 ч.

Примером высокооборотных бесконтактных двигателей являются двигатели серии БК.

В ММ широко применяют бесколлекторные двигатели переменного тока, обладающие следующими преимуществами: длительность службы (гарантийный срок службы более 40 000 ч); большие допустимые кратковременные перегрузки по току; возможность использования в агрессивных средах (отсутствует механический контактный коллектор, источник искрового и дугового разрядов); небольшие массогабаритные параметры; удобное с точки зрения охлаждения расположение обмотки (на неподвижном статоре).

Различают асинхронные и синхронные двигатели переменного тока.

Асинхронные двигатели применяют разных модификаций: однофазные, двухфазные и трехфазные, с короткозамкнутым и фазным роторами. В настоящее время в ММ находят наибольшее применение трехфазные короткозамкнутые электродвигатели серий ДАТ, 4А, АИР, 5АИ.

Регулирование скорости асинхронного короткозамкнутого двигателя производят путем изменения задаваемой частоты и тока электродвигателя. Такое регулирование называют частотно-токовым.

Синхронные двигатели применяют в различных областях техники. Они характеризуются хорошей управляемостью, высоким КПД, бесконтактностью, широкими функциональными возможностями. Применение синхронных двигателей в ММ обеспечивает высокую частоту вращения выходного звена, малое время (менее 0,1 с) разгона от нуля до максимальной частоты вращения, отсутствие пульсаций момента, малые массу и габариты, небольшой собственный момент инерции, высокую перегрузочную способность в циклическом режиме, широкий диапазон регулирования частоты вращения.

Электромагнитный момент синхронного двигателя зависит от магнитного потока возбуждения, тока и пространственного угла между векторами магнитного потока и тока.

У синхронных двигателей угол φ положения ротора относительно статора контролируется дискретным датчиком. Равномерность регулирования в преде-лах шага достигается путем регулирования тока. Система управления — замкнутая.

Такой режим работы называют режимом бесконтактного двигателя постоянного тока. При работе в нем синхронный двигатель имеет механические и регулировочные характеристики двигателя постоянного тока.

Однако наиболее хорошие регулировочные свойства синхронный двигатель приобретает не при дискретном, а при непрерывном контроле положения ротора и отслеживании равенства угла $\varphi = 90°$, тем самым формируя синусоидальное значение тока в каждой фазе. В этом случае двигатель имеет самые высокие энергетические характеристики.

Примером синхронных вентильных двигателей являются двигатели серий: ДВУ (на магнитах из феррита-стронция); 2ДВУ (на редкоземельных магнитах); 3ДВУ (дисковые на редкоземельных магнитах).

Максимальный допустимый момент этих двигателей равен пятикратному номинальному моменту.

Все двигатели серии ДВУ имеют пристраиваемый комплексный датчик типа ПДФ-8 или ПДФ-9, включающий в себя бесколлекторный тахогенератор, бесконтактный датчик положения ротора и датчик положения или встроенный датчик аналогичного назначения. Имеется модификация двигателей со встроенным электромагнитным тормозом.

Следует отметить новое направление в конструктивном исполнении двигателей: проектирование и создание двигателей для непосредственного встраивания в механизм, а не принятого универсального присоединения к механизму. В состав таких двигателей не входят вал, опорные щиты и подшипники, что существенно упрощает конструкцию преобразователя движения.

В качестве примера могут быть приведены вентильные бесконтактные двигатели серии ДБМ (рис. 2.1). Они имеют плоскую встраиваемую конструкцию из статора *1* и ротора *2* и предназначены для работы в шаговом и регулируемом режимах.



Рис. 2.1. Внешний вид двигателя ДБМ

Подобное исполнение обеспечивает пакетирование для увеличения требуемого момента, т.е. конструкция двигателя в этом случае представляет собой пакет синхронных машин с общим датчиком положения ротора.

Условное обозначение двигателя серии ДБМ, например, ДБМ-63-0,06-3-2 расшифровывают следующим образом: ДБМ — двигатель бесконтактный моментный; 63 — внешний диаметр корпуса, мм; 0,06 — номинальный момент, Н·м, 3 — номинальная частота вращения, тыс. об/мин; 2 — число фаз.

Двигатели серии ДБМ спроектированы для работы с малыми скоростями и большими моментами и обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными бесконтактными двигателями: повышенным ресурсом работы; большим отношением вращающего момента к моменту инерции ротора, что обеспечивает высокое быстродействие; высокой точностью отработки угла поворота из-за отсутствия упругих связей и люфтов. Применение таких двигателей в ММ позволяет во многих случаях отказаться от преобразователя движения.

В большинстве случаев двигатели серии ДБМ используют в режиме бесконтактной машины постоянного тока.

В качестве датчика положения ротора в ММ с двигателем серии ДБМ используют бесконтактный синусно-косинусный вращающийся трансформатор типа редуктосин.

2.1.2. Электродвигатели линейного перемещения

Принцип действия и конструктивная схема двигателя линейного перемещения, или линейного двигателя, известны давно.

Прототипом линейного двигателя является электромагнитная система, состоящая из металлического сердечника-магнита и статорной обмотки (рис. 2.2). При подаче тока определенной полярности в статорную обмотку сердечник-магнит смещается в ту или иную сторону. Между источником энергии и подвижным звеном нет промежуточных элементов. Передача энергии осуществляется через воздушный зазор между статорной обмоткой и подвижным звеном. На этом принципе действия уже много лет работают различные системы электроавтоматики, электротормозов, защиты и т.п.

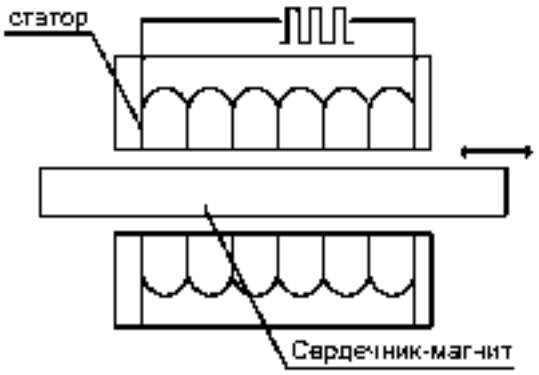


Рис. 2.2. Схема простейшего линейного электродвигателя

Достоинствами таких систем являются простота конструкции, быстрота срабатывания, почти мгновенный останов и реверс, большие осевые усилия, простота настройки и применения.

Для идеальной работы их не хватало только возможности регулировать скорость подвижного звена, но без этого сконструировать линейный двигатель было невозможно.

Потребовались многие годы работы ученых и конструкторов в разных странах, прежде чем был достигнут успех. В Японии впервые был успешно использован линейный привод как движитель сверхскоростных поездов. Попытки создания линейных двигателей для металлообрабатывающих станков приводили к возникновению сильных магнитных полей, нагреву двигателя, неравномерности движения подвижного звена. И только на пороге третьего тысячелетия японская компания *SODICK Co., Ltd* первой сумела решить сложнейшие конструкторско-технологические задачи, позволившие приступить к серийному

выпуску станков (пока в основном электроэрозионных) с принципиально новыми линейными двигателями, в которых решены все проблемы по обеспечению равномерности движения подвижного звена станка со сверхвысокой точностью, с широким диапазоном регулирования скорости, громадными ускорениями, мгновенным остановом и реверсом, простотой обслуживания и наладки и др.

Можно представить себе «получение» линейного двигателя из двигателя углового движения (рис. 2.3) в результате продольного разреза статора и развертки его в плоскость. Ротор также следует выпрямить. В результате движение «ротора» становится линейным. Обратная свертка линейного двигателя (рис. 2.4) относительно его поперечной оси приводит к появлению линейного двигателя иного типа.

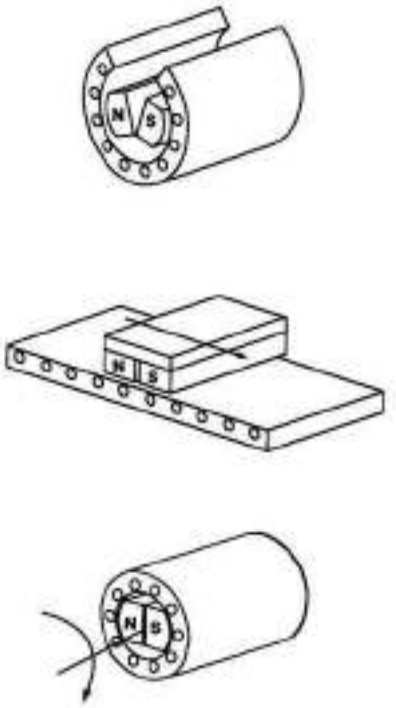


Рис. 2.3. Получение линейного двигателя
разверткой двигателя вращательного движения

Следует отметить, что двигаться может либо «ротор», либо «статор». Все зависит от того, что закреплено. Если закреплен «статор», то движется «ротор», при закреплении «ротора» движется «статор».

Таким образом, линейный двигатель состоит из двух основных элементов: электромагнитного «статора» *1* и плоского «ротора» *2* (рис. 2.5, *а, б*) с воздушным зазором между ними. Для определения текущих координат подвижного звена на неподвижном звене устанавливают измерительную линейку с высокой дискретностью (0,1 мкм).

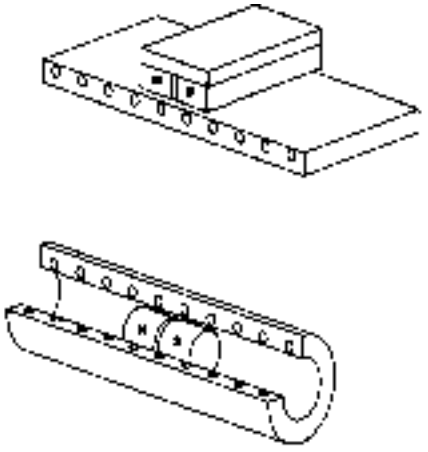


Рис. 2.4. Получение линейного двигателя
сверткой относительно поперечной оси

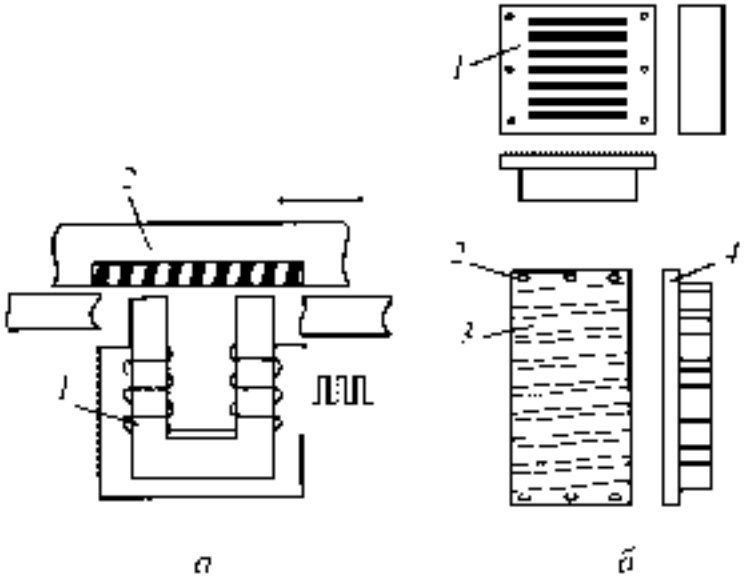


Рис. 2.5. Устройство линейного двигателя

«Ротора» 2 (рис. 2,5, *б*) состоит из ряда прямоугольных сильных (редкоземельных) постоянных магнитов *3*, закрепленных под определенным фиксированным углом на тонкой плите *4* из специальной высокопрочной керамики с малым (в два раза меньше, чем у гранита) коэффициентом температурного расширения. Применение керамики с системой охлаждения и использование высокоэффективной шестифазной импульсной системы управления (системы *SMC*) позволили предотвратить перегрев, избежать сильных магнитных полей и добиться точного и равномерного движения подвижного звена во всем диапазоне скоростей и нагрузок.

Компания *SODICK* серийно выпускает широкую гамму линейных двигателей со следующими характеристиками: ходом подвижного звена 100 – 2 220 мм, максимальной скоростью перемещения 3 м/с, ускорением до 20*g* при точности исполнения заданных перемещений 0,1 мкм, практически мгновенной остановкой и реверсом, моментальной реакцией на команды системы управления. Повышение температуры двигателя при работе по сравнению с температурой помещения не превышает 2 °С.

Для увеличения мощности на один рабочий орган устанавливают несколько линейных двигателей. Так, на электроэрозионных прошивочных станках фирмы *SODICK* для вертикального перемещения рабочего органа установлены два линейных двигателя, конструкция которых иллюстрируется рис. 2.6.

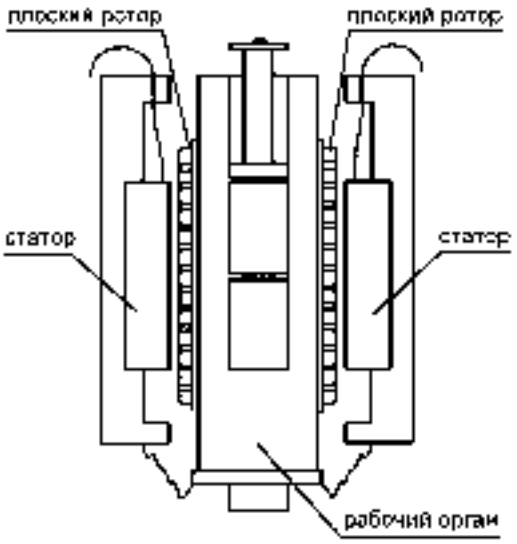


Рис. 2.6. Конструкция линейного двигателя *SODICK Co., Ltd*

Рассмотрим линейный двигатель *Iron Core Brushless Linear Servo Motor* фирмы *Baldor Electric Company*. На рис. 2.7 изображен его внешний вид.

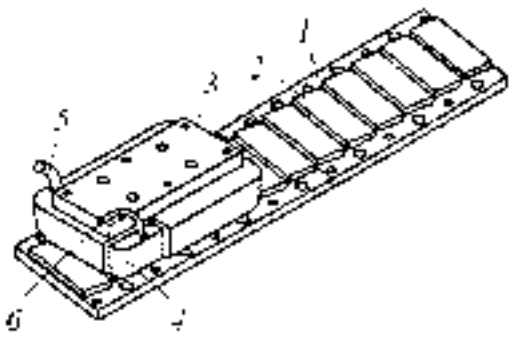


Рис. 2.7. Линейный двигатель *Iron Core Brushless Linear Servo Motor*

Двигатель состоит из направляющего устройства («ротора»), представляющего собой тонкую стальную пластину *1* с наклеенными на ней под определенным углом прямоугольными редкоземельными постоянными магнитами *2*, и подвижного звена («статора») *3*, состоящего из группы катушек, залитых теплопроводящей эпоксидной смолой, датчика Холла *4*, подводящего к катушкам кабеля *5* и кабеля *6* датчика Холла. Направляющее устройство собирают из секций длиной *D*, число которых определяется необходимой длиной двигателя.

Линейный двигатель *Cog-free Brushless Linear Servo Motor* фирмы *Baldor Electric Company* изображен на рис. 2.8. Он состоит из направляющего устройства («ротора»), представляющего собой тонкий ⌊⌋-образный стальной профиль *1* с наклеенными на его боковые поверхности прямоугольными редкоземельными постоянными магнитами *2*, и подвижного звена («статора») *3*, устроенного аналогично рассмотренному выше линейному двигателю *Iron Core Brushless*.

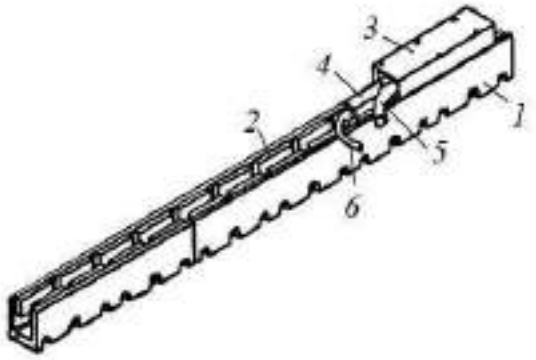


Рис. 2.8. Линейный двигатель *Cog-free Brushless Linear Servo Motor*

2.2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ

2.2.1. Классификация гидравлических двигателей объемного вытеснения

Гидродвигатели, использующие в рабочем процессе статическое давление жидкости, называются *двигателями объемного вытеснения*, а гидросистемы с ними — *объемным гидроприводом*.

Гидродвигатели, использующие в рабочем процессе динамическое давление жидкости, относятся к *турбомашинам*. Конструктивными элементами турбомашин, взаимодействующими с жидкостью, являются лопасти (лопатки), поэтому вместо термина «турбомашины» используют также термин *лопастные гидромашины*.

Основные преимущества двигателей объемного вытеснения перед лопастными с точки зрения их применения в гидроприводе ММ следующие:

– «жесткая» характеристика (слабая зависимость потребляемого расхода жидкости от давления, т.е. от нагрузки);

– возможность обеспечения весьма малых, так называемых ползучих, скоростей рабочих органов;

– хорошая управляемость;

– слабая зависимость КПД от режима работы.

Преимущества лопастных гидродвигателей:

– высокая энергоемкость, обусловленная большей производительностью при равных размерах;

– относительная простота конструкции.

Очевидно, что преимущества двигателей объемного вытеснения гораздо более значимые. Применение именно этих гидромашин в ММ позволяет создавать малогабаритные высоконагруженные и высокоточные устройства.

Поэтому далее будут рассмотрены гидродвигатели объемного вытеснения, или, как их еще называют, *объемные гидромоторы*.

Классификация объемных гидромоторов иллюстрируется рис. 2.9.

По виду движения рабочего органа различают гидромоторы поступательного движения (*гидроцилиндры*) и вращательного движения.

Гидроцилиндры, способные развивать рабочие усилия как при прямом, так и при обратном движении, называются *гидроцилиндрами двустороннего действия* и могут быть выполнены с односторонним или двусторонним штоком.

Гидроцилиндры, предназначенные для создания усилия постоянного направления (в одном направлении ход рабочий, в обратном — холостой), называются *гидроцилиндрами одностороннего действия* и могут быть поршневыми или плунжерными.

Гидромоторы вращательного движения подразделяются на неполноповоротные (*моментные гидроцилиндры*) и полноповоротные, иначе называемые гидромоторами неограниченного вращения.

Моментные гидроцилиндры выполняют возвратно-вращательное движение на угол менее 360°. Они могут иметь ротор с одной или несколькими пластинами.

Полноповоротные гидромоторы, совершенно аналогично насосам объемного вытеснения, подразделяются на радиально- и аксиально-поршневые, пластинчатые и шестеренные.

В дальнейшем под *гидромотором* будет подразумеваться именно гидродвигатель неограниченного вращения.

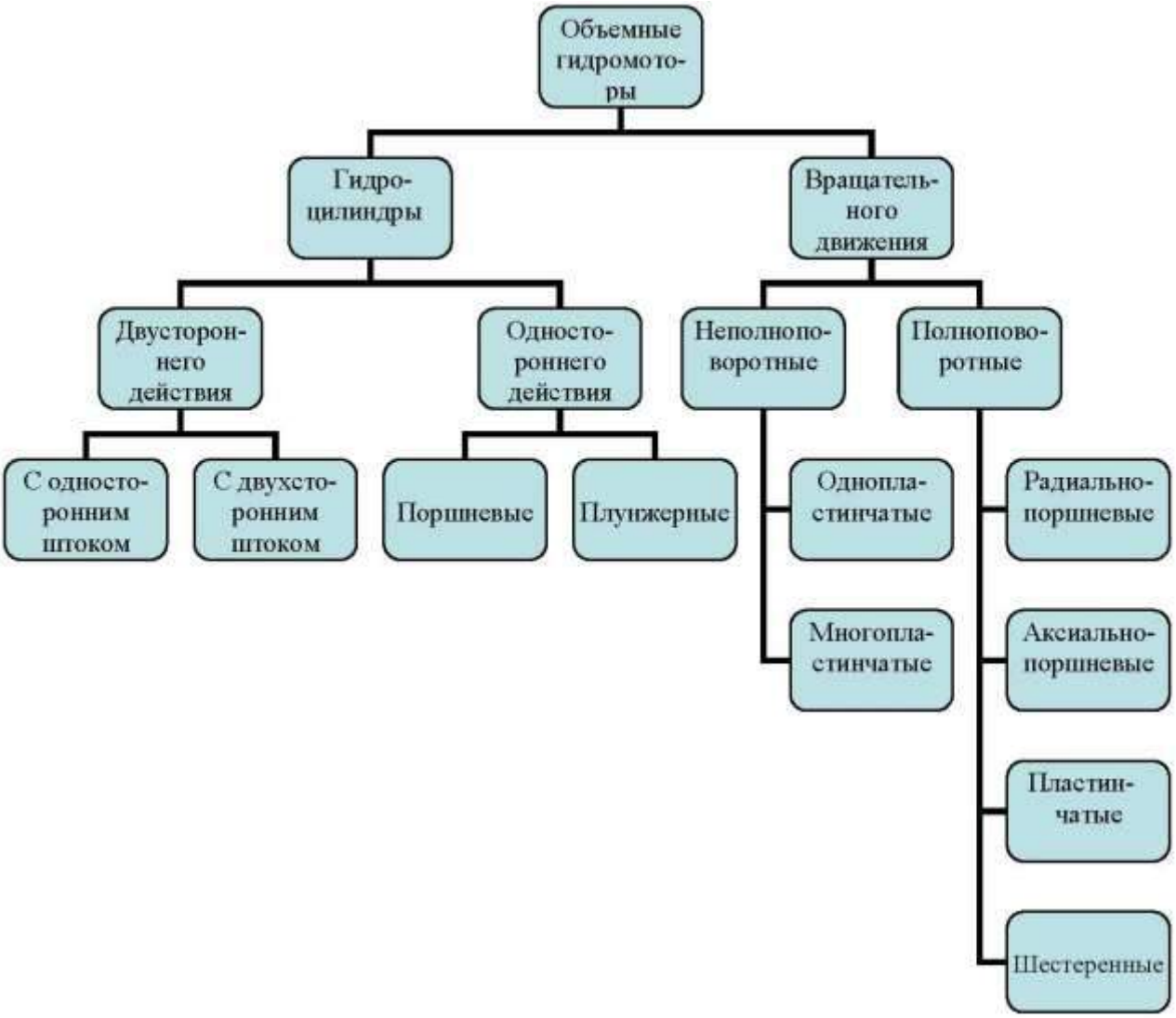


Рис. 2.9. Классификация двигателей объемного вытеснения

Следует указать на такое очень важное свойство гидромашин, как *обратимость*. Подача жидкости под высоким давлением в полость всасывания насоса приводит к вращению его ротора и созданию на его валу крутящего момента, величина которого определяется давлением жидкости, т. е насос начинает работать как гидромотор. Поэтому конструкции насосов и гидромоторов одного и того же принципа действия имеют практически одинаковые основные элементы.

2.2.2. Гидравлические двигатели вращательного движения

Серийно выпускающиеся *радиально-поршневые гидромоторы* представляют собой достаточно сложные агрегаты; некоторые из них имеют собственную гидросистему, средства регулирования и реверсирования и т.п. Их мас-

согабаритные показатели таковы, что применение этих гидромашин в ММ практически невозможно. Есть, однако, и среди радиально-поршневых гидромоторов очень интересные с этой точки зрения.

Следует, в частности, особо рассмотреть устройство радиально-поршневого гидромотора многократного действия, иначе называемого высокомоментным гидромотором.

Схема высокомоментного гидромотора приведена на рис. 2.10.

Характерной особенностью его конструкции является статор, внутренняя поверхность которого спрофилирована таким образом, что поршень за один оборот ротора совершает несколько двойных ходов (в гидромоторе по рис. 2.10 таких двойных ходов четыре).

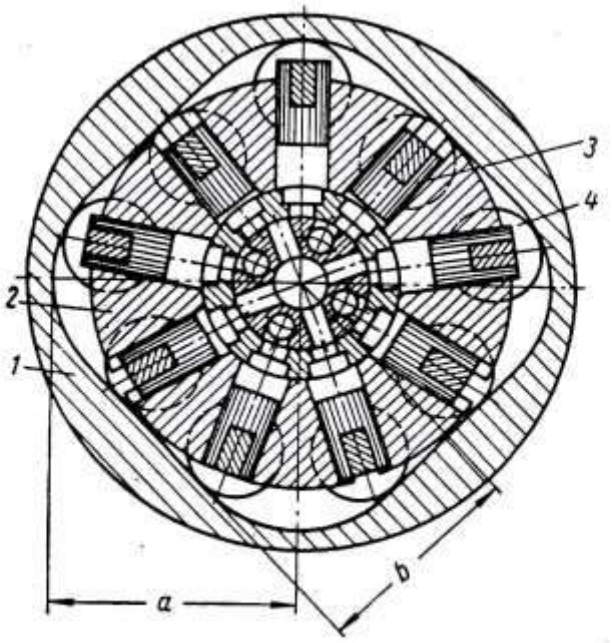
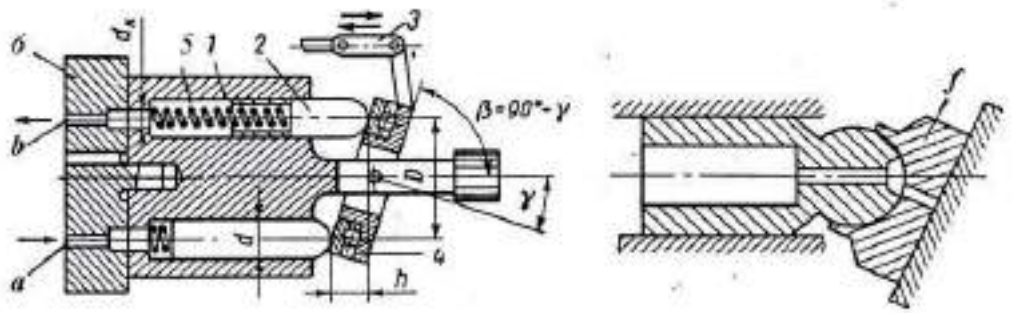


Рис. 2.10. Роторно-поршневой высокомоментный гидромотор:
1 — статор; *2* — блок цилиндров (ротор); *3* — поршень; *4* — ролик

Пусть в общем случае число двойных ходов гидромотора равно m. Тогда расход жидкости, потребляемый такой гидромашиной, будет в m раз больше, чем гидромотором одинарного действия при тех же перемещениях и диаметрах поршней, во столько же раз выше крутящий момент и меньше угловая скорость ротора. А если принять во внимание, что при необходимости можно обеспечить $m = 20$, то становится очевидной целесообразность применения высокомоментных гидромоторов в ММ с большими значениями крутящего момента и низкими частотами вращения выходного вала.

Аксиально-поршневые гидромоторы более компактны и удобны для применения в ММ, чем радиально-поршневые, поэтому и используются они значительно чаще. В настоящее время предприятиями выпускается широкая номенклатура гидромоторов рассматриваемого типа на различные давления и расходы жидкости.

Принцип действия аксиально-поршневого гидромотора поясняется рис. 2.11, *а*.



а *б*

Рис. 2.11. Схема аксиально-поршневого гидромотора:
а — конструкция; *б* — опорный башмак;
1 — ротор; *2* — поршень (плунжер); *3* — звено механизма качания наклонной шайбы *4*; *5* — пружина; *6* — узел распределения жидкости;
a — окно для подвода жидкости; ***b*** — сливное окно; ***f*** — опорный башмак

При подаче жидкости из линии нагнетания через узел распределения *б* в окно ***a*** плунжер *2* нижнего цилиндра, контактирующий с наклонной шайбой *4* посредством упорного подшипника качения, выдвигается за половину оборота на расстояние *h* из цилиндра. За последующую половину оборота ротора плунжер снова вдвигается в цилиндр, и жидкость через узел распределения и окно ***b*** вытесняется в сливную линию.

Пружины *5* обеспечивают постоянный контакт плунжеров с упорным подшипником наклонной шайбы.

Механизм качания (*3* — его концевое звено) изменяет угол γ наклона шайбы *4*, причем соответственно изменяется ход плунжера *h* по закону:

$$h = D\mathrm{tg}\gamma, \qquad (2.1)$$

где *D* — диаметр окружности, на которой расположены плунжеры в роторе.

Очевидно, что поворотом шайбы *4* против часовой стрелки можно получить $h = 0$ и, следовательно, остановку гидромотора, а затем и реверсирование направления вращения ротора.

Опорный башмак *f* (рис. 2.11, *б*) позволяет заменить точечный контакт плунжеров с поверхностью опорной шайбы поверхностным контактом (плунжера с башмаком — по сферической поверхности, башмака с наклонной шайбой — по плоскости) и таким образом снизить интенсивность износа контактирующих поверхностей.

Иначе решена задача изменения частоты вращения в аксиально-поршневом насосе, конструкция которого показана на рис. 2.12.

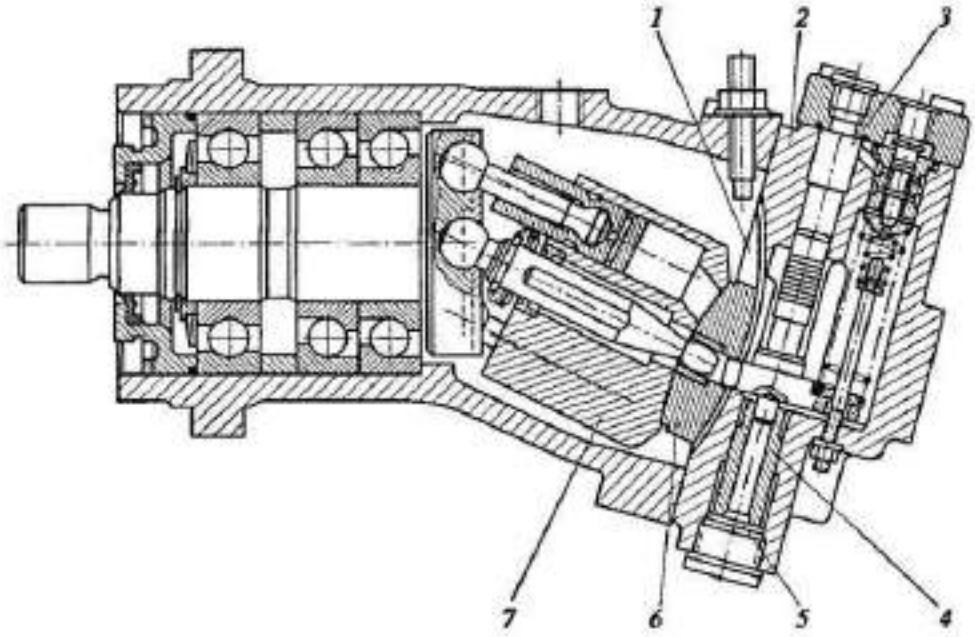


Рис. 2.12. Аксиально-поршневой гидромотор, регулируемый изменением угла наклона блока цилиндров:
1 — цилиндрический паз; *2* — крышка корпуса; *3* — полость; *4* — поршень; *5* — гидроцилиндр; *6* — распределитель; *7* — блок цилиндров

Его распределитель *6* имеет возможность скользить по цилиндрическому пазу *1* в крышке корпуса *2*. Изменение угла наклона блока цилиндров *7* производится поршнем *4* управляющего гидроцилиндра *5* при подаче в его полость *3* жидкости под давлением.

В качестве примера в табл. 2.1 приведены основные параметры серийно выпускаемых аксиально-поршневых нерегулируемых гидромоторов ряда Г15-2.

На рис. 2.13 показан внешний вид аксиально-поршневого регулируемого гидромотора Г12-21Р.

Таблица 2.1

Основные параметры аксиально-поршневых гидромоторов Г15-2

Параметр	Г15-21Н	Г15-22Н	Г15-23Н	Г15-24Н	Г15-25Н
Номинальный крутящий момент, Н·м	9,4	16,7	33,3	66,7	133
Номинальный расход, $дм^3$/мин	10,8	19,2	38,4	76,8	154
Номинальная мощность, кВт	0,96	1,7	3,4	6,8	13,6
Масса, кг	4,5	7,0	12	20	40

Примечания:
1. Номинальная частота вращения 960 об/мин.
2. Номинальное давление 6,3 МПа.
3. Полный КПД 0,87.



Рис. 2.13. Аксиально-поршневой регулируемый гидромотор Г15-21Р

Пластинчатые гидромоторы в ММ составляют определенную конкуренцию гидромоторам аксиально-поршневым. Поэтому интересно сравнить между собой эти два типа по конструктивной сложности и рабочим параметрам.

Схема пластинчатого гидромотора двойного действия показана на рис. 2.14.

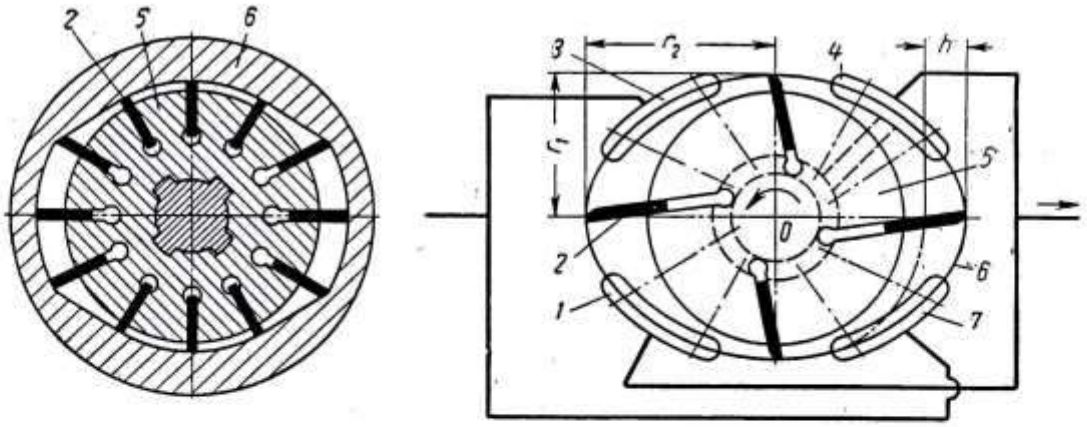


Рис. 2.14. Пластинчатый гидромотор двойного действия:
1, *4* — сливные окна; *2* — пластины; *3*, *7* — подающие окна;
5 — ротор; *6* — статор

Поверхность статора *6* спрофилирована таким образом, что при вращении ротора *5* против часовой стрелки жидкость под давлением поступает в насос через окна *3* и *7* и выходит в сливную линию через окна *1* и *4*. Силы давления жидкости на ротор со стороны полостей подачи взаимно уравновешиваются.

Недостаток таких гидромоторов — невозможность их регулирования.

Основные рабочие параметры гидромоторов Г16-1–М даны в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Основные параметры пластинчатых гидромоторов Г16-1–М

Параметр	**Г16-11М**	**Г16-12М**	**Г16-13М**	**Г16-14М**	**Г16-15М**
Номинальный крутящий момент, Н·м	6,2	12,3	24,5	49	98
Номинальный расход, $дм^3$/мин	14	19,4	37,1	67,2	129
Номинальная мощность, кВт	0,6	1,2	2,4	4,9	9,8
Номинальное давление, МПа	8			7	
Полный КПД	0,5	0,63	0,69	0,73	0,76
Масса, кг	6,3		10	24	
Примечание. Номинальная частота вращения 960 об/мин.					

При сравнении параметров пластинчатых и поршневых гидромашин обращает на себя внимание существенно меньший объемный КПД пластинчатых гидромоторов. Причина этого состоит в невозможности предотвращения перетечек жидкости между пластинами и поверхностью расточки статора, между пластинами и боковыми стенками.

К достоинствам пластинчатых гидромоторов следует отнести их более простую конструкцию.

Об эксплуатационных преимуществах аксиально-поршневых гидромоторов перед пластинчатыми говорят следующие данные.

По номинальному расходу близки гидромоторы Г15-23Н и Г16-13М, но Г15-23Н развивает в 1,4 раза большие крутящий момент и мощность, имеет полный КПД в 1,26 раза выше, причем масса его только в 1,2 раза больше. К этому следует добавить, что Г15-23Н способен работать при перепаде давлений 12,5 МПа, а Г16-13М — 8 МПа, и уровень шума у Г15-23Н на 12 дБ(А) ниже, чем у Г16-13М.

Разумеется, такого «экспресс-сравнения» недостаточно, чтобы однозначно утверждать о превосходстве аксиально-поршневых гидромоторов. В каждом конкретном случае необходимо рассматривать в совокупности весь ММ и сравнивать варианты по стоимости, габаритам и т.д.

В конструкциях ММ находят широкое применение *неполноповоротные гидромоторы*, или моментные гидроцилиндры.

Схема моментного гидроцилиндра с одной пластиной показана на рис. 2.15. Он состоит из корпуса *1* и ротора, представляющего собой втулку *2* с пластиной *3*. Кольцевая полость между внутренней поверхностью корпуса и втулкой разделена перемычкой *4* с уплотнительным элементом *5*.

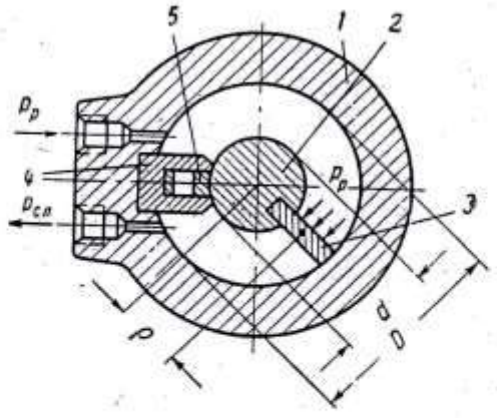


Рис. 2.15. Моментный гидроцилиндр:
1 — корпус; *2* — втулка; *3* — пластина; *4* — перемычка;
5 — уплотнительный элемент

При подаче жидкости под давлением $p_р$ в верхний канал пластина *3* с втулкой *2* поворачивается по часовой стрелке. Максимальный угол поворота обычно равен 270°.

Развиваемый моментным гидроцилиндром крутящий момент:

$$T = (p_р - p_{сл}) A_{пл} \rho \eta_{мех}, \tag{2.2}$$

где $p_{сл}$ — давление жидкости в сливном канале; $A_{пл}$ — площадь рабочей поверхности пластины; ρ — плечо приложения силы давления.

Площадь рабочей поверхности пластины:

$$A_{пл} = (D - d)\frac{b}{2}, \tag{2.3}$$

где b — ширина пластины по оси цилиндра.

Плечо силы давления:

$$\rho = \frac{D + d}{4}, \tag{2.4}$$

поэтому для $p_{сл} \approx 0$:

$$T = 0{,}125 p_р (D^2 - d^2) b \eta_{мех}. \tag{2.5}$$

Угловая скорость ротора:

$$\omega = \frac{Q\eta_{об}}{A_{пл}\rho} = \frac{8Q\eta_{об}}{(D^2 - d^2)b}. \tag{2.6}$$

В отличие от гидроцилиндров поступательного движения, в моментных гидроцилиндрах $\eta_{об} < 1$, так как достаточно эффективно уплотнить зазоры между пластиной, корпусом и боковыми стенками не удается.

Многопластинчатые моментные гидроцилиндры содержат две или три пластины и развивают соответственно большие крутящие моменты, но меньшие угловые скорости (при равных расходах жидкости), причем максимальный угол поворота соответственно уменьшается.

Для многопластинчатых гидроцилиндров формулы (2.5) и (2.6) принимают следующий вид:

$$T = 0{,}125 p_{\text{р}} z (D^2 - d^2) b \eta_{\text{мех}}; \tag{2.7}$$

$$\omega = \frac{Q\eta_{\text{об}}}{A_{\text{пл}}\rho} = \frac{8Q\eta_{\text{об}}}{(D^2 - d^2)zb}. \tag{2.8}$$

В (2.7) и (2.8) z — число пластин.

Основные технические параметры серийно выпускаемых моментных гидроцилиндров ДПГ приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Основные параметры моментных гидроцилиндров ДПГ

Параметр	ДПГ16	ДПГ63	ДПГ125	ДПГ200
Номинальный крутящий момент, Н·м	160	630	1250	2000
Расход при максимальной угловой скорости, дм^3/мин	1,6	6,3	12,5	20
КПД: полный объемный	 0,9 0,94	 0,92 0,97	 0,89 0,98	 0,9 0,98
Масса, кг	4	14	40	45
Примечания: 1. Угловая скорость максимальная 3,14 с$^{-1}$. 2. Номинальное давление 16 МПа. 3. Угол поворота 270°.				

Шестеренные гидромоторы имеют наиболее простую конструкцию из всех машин объемного вытеснения.

На роторе гидромотора закреплена шестерня *1* (рис. 2.16), в зацеплении с которой находится шестерня *4*. Зазоры между вершинами зубьев шестерен и внутренней поверхностью корпуса *3* весьма малы. Жидкость под давлением поступает в полость *5*, приводя зубчатую пару во вращение. Из полости *5* в полость *2* жидкость переносится во впадинах между зубьями, ограниченных поверхностью корпуса и двумя (передней и задней) боковыми крышками.

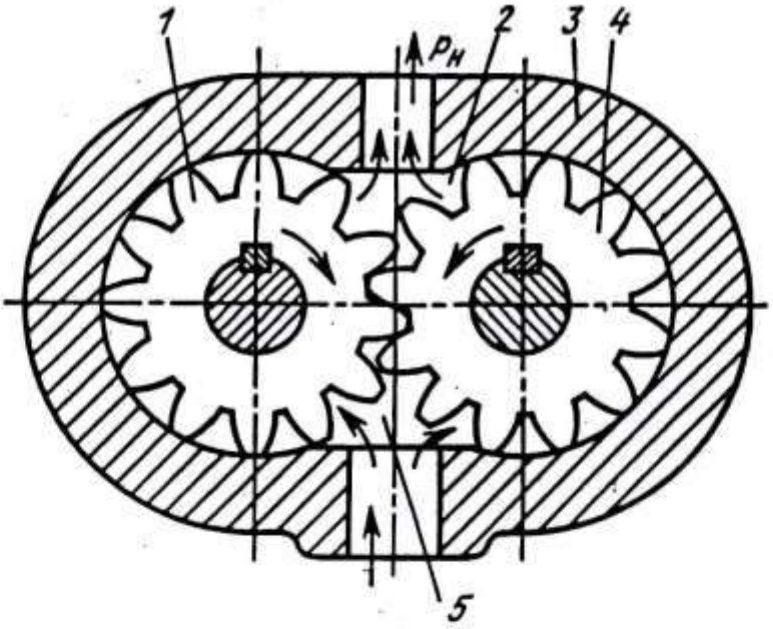


Рис. 2.16. Схема действия шестеренного гидромотора:
1, *4* — шестерни; *2* — подающая полость; *3* — корпус;
5 — сливная полость

Об одном из достоинств шестеренных гидромоторов — конструктивной простоте — уже сказано выше.

Кроме того, следует отметить надежность в эксплуатации и несколько более высокий, по сравнению с пластинчатыми насосами, объемный КПД.

Основной недостаток этих гидромашин состоит в невозможности их регулирования. Попытки создать регулируемый шестеренный насос предпринимаются, но успеха до настоящего времени достичь не удалось, так как конструкция резко усложняется, увеличиваются утечки, снижается качество зацепления и связанные с ним надежность и долговечность и т.п.

Также нужно указать на сравнительно низкий механический КПД. Дело в том, что ротор и шестерня *4* (рис. 2.16) установлены обычно на подшипниках скольжения, что дает возможность уменьшить размеры насоса в целом и избежать больших утечек, но увеличивает потери мощности на трение.

2.2.3. Гидроцилиндры

Принцип работы гидроцилиндров поясняется рис. 2.17.

Гидроцилиндр содержит корпус (гильзу) *1*, в котором расположен поршень *3*, шток *5* которого выходит наружу. Зазор между поршнем и корпусом перекрыт уплотнением *2*, а между штоком и корпусом — уплотнением *3*.

При расчете гидроцилиндров необходимо принимать во внимание силы трения между уплотнительными элементами и движущимися поверхностями. Эти силы учитываются механическим КПД, величина которого, по различным данным, находится в интервале $\eta_{мех}$ = 0,85–0,98. Конкретное значение $\eta_{мех}$ на стадии расчета определить невозможно, оно зависит от многих факторов.

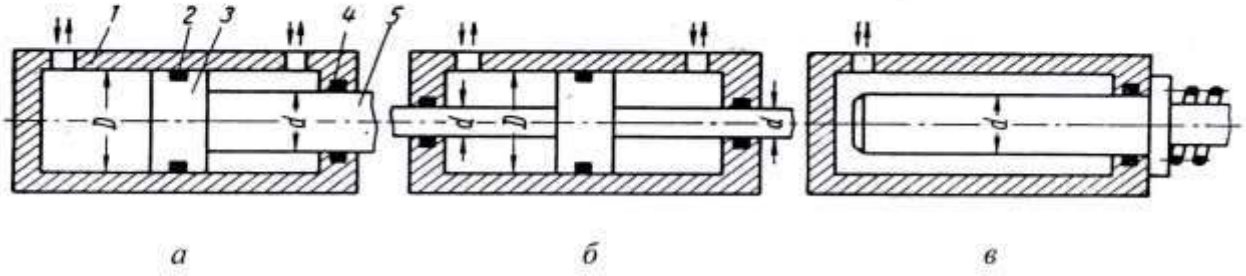


Рис. 2.17. Схемы гидроцилиндров:
а — гидроцилиндр двустороннего действия с односторонним штоком;
б — гидроцилиндр двустороннего действия с двусторонним штоком;
в — гидроцилиндр одностороннего действия плунжерный

Один из них — диаметр уплотняемой поверхности, с величиной которого величина $\eta_{мех}$ связана линейной зависимостью. К сожалению, полагаться на значения $\eta_{мех}$, полученные из приводимых в различных источниках формул, нельзя. На основе анализа ряда научно-технических работ могут быть рекомендованы для использования на стадии предварительного расчета следующие значения $\eta_{мех}$:

- при диаметрах поршня (плунжера) до 40 мм $\eta_{мех}$ = 0,85;
- при диаметрах поршня свыше 40 до 60 мм $\eta_{мех}$ = 0,9;
- при диаметрах поршня свыше 60 до 125 мм $\eta_{мех}$ = 0,92;
- при диаметре поршня свыше 125 мм $\eta_{мех}$ = 0,95.

У гидроцилиндра двустороннего действия с односторонним штоком различают поршневую (слева от поршня на рис. 2.17, *а*) и штоковую (справа от поршня на рис. 2.17, *а*) полости. От того, в какую полость подается жидкость под давлением, зависят усилие на штоке и скорость движения штока. Подача жидкости в поршневую полость при условии, что давление в штоковой полости мало отличается от атмосферного, обеспечивает усилие:

$$F_1 = \frac{\pi D^2}{4} p\eta_{мех} \qquad (2.9)$$

и скорость выдвижения штока из цилиндра:

$$v_1 = \frac{4Q}{\pi D^2}, \tag{2.10}$$

где Q — расход поступающей в цилиндр жидкости.

При подаче в штоковую полость усилие равно:

$$F_1 = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} p\eta_{\text{мех}}; \tag{2.11}$$

скорость перемещения штока в цилиндр:

$$v_1 = \frac{4Q}{\pi(D^2 - d^2)}. \tag{2.12}$$

Усилие и скорость перемещения штока гидроцилиндра с двусторонним штоком (рис. 2.17, *б*) не зависят от того, в какую полость подается жидкость, и определяются по формулам (2.11) и (2.12).

Усилие и скорость выдвижения плунжера гидроцилиндра, изображенного на рис. 2.17, *в*, определяются по формулам (2.9) и (2.10), в которых под D подразумевается диаметр плунжера. Такой гидроцилиндр под действием давления жидкости совершает ход в одну сторону (на рис. 2.17, *в* — вправо), а обратный ход — под действием внешней силы (на рис. 2.17, *в* это сила пружины).

В настоящее время действует ряд стандартов на гидроцилиндры. В качестве примера могут быть приведены стандарты на гидроцилиндры для станочных приспособлений с диаметрами поршня от 40 до 80 мм для работы при номинальном давлении жидкости 10 МПа со скоростями до 0,063 м/с [9]. Эти стандарты распространяются на цилиндры одностороннего действия со сплошным и полым штоками, а также двустороннего действия.

Конструкции гидроцилиндров не исчерпываются показанными на рис. 2.17. Например, находят применение телескопические гидроцилиндры (рис. 2.18). Они позволяют при малой длине гильзы получить большое перемещение объекта.



Рис. 2.18. Телескопический гидроцилиндр

Контрольные вопросы

1. Дайте сравнительную характеристику электродвигателей вращательного движения.

2. Электродвигатели какого типа способны развивать наибольшие пусковые моменты?

3. В чем состоит конструктивное различие коллекторного и бесколлекторного электродвигателей?

4. Что такое датчик Холла?

5. Поясните принцип работы электродвигателя поступательного движения.

6. Дайте сравнительную характеристику объемных гидродвигателей вращательного движения.

7. Назовите преимущества объемных гидродвигателей по сравнению с электродвигателями.

8. Какой, по Вашему мнению, объемный гидродвигатель вращательного движения имеет простейшую конструкцию?

9. Что такое гидроцилиндр двустороннего действия с двусторонним штоком?

10. Как устроен телескопический гидроцилиндр?

3. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ

3.1.1. Общие положения

Определение требуемой мощности двигателя, или энергетический расчет, является важной частью процесса конструирования ММ и направлен на рациональный выбор двигателя и преобразователя движения (совокупность двигателя и преобразователя движения далее будет называться *приводом*), которые обеспечивают заданные законы движения выходного звена. Необходимо учитывать, что привод определяет энергетические свойства модуля и его кинематические и динамические характеристики и при этом является весьма дорогостоящим, энерго- и материалоемким узлом. Поэтому следует стремиться обеспечить заданные характеристики ММ с одновременной минимизацией стоимости, мощности и массы привода.

Методика энергетического расчета ММ определяется заданными режимами движения и информацией о параметрах нагрузки. С этой точки зрения можно выделить два основных варианта постановки задачи расчета ММ, которые наи-более часто встречаются в инженерной практике.

В первом варианте проводят проектирование *специализированного* ММ как составляющей части мехатронной системы. При таком подходе конструктор с помощью специальных расчетов получает детальную информацию об объекте: законе его движения во времени, характеристиках нагрузки (включая ее составляющие), массогабаритных параметрах объекта, условиях эксплуатации и т.д. Наличие полной информации о нагрузке позволяет оптимизировать параметры привода.

Методики энергетического расчета и оптимизации специализированных ММ можно найти в специальной литературе.

Второй вариант предусматривает создание *универсального* ММ как функционально самостоятельного изделия, которое в дальнейшем может быть использовано в мехатронных системах различного назначения и конструктивного исполнения. В этом случае конструктор не имеет полной информации о характере нагрузки и законе движения объекта во времени. Энергетический расчет проводят для типового закона перемещения выходного звена модуля по предельным значениям нагрузки, скорости и ускорения движения.

Ниже будет рассмотрен энергетический расчет универсального ММ.

3.1.2. Энергетический расчет универсального мехатронного модуля при незначительных динамических нагрузках

Рассмотрим методику расчета универсального ММ при незначительных динамических нагрузках, когда силы инерции значительно меньше внешних сил, действующих на ММ. В этом случае основными исходными данными являются:

- структурная схема мехатронного модуля;
- приложенная внешняя нагрузка (сила $F_{\text{Н}}$ или вращающий момент $T_{\text{Н}}$);
- требуемая скорость (линейная $v_{\text{вых}}$ или угловая $\omega_{\text{вых}}$) выходного звена.

Для ММ поступательного движения требуемую мощность двигателя, Вт, определяют по формуле:

$$P = \frac{F_{\text{Н}} v_{\text{вых}} K_{\text{дин}}}{\eta}, \tag{3.1}$$

где $F_{\text{Н}}$ — усилие сопротивления на выходном звене, Н; $v_{\text{вых}}$ — линейная скорость выходного звена, м/с; η — коэффициент полезного действия преобразователя движения; $K_{\text{дин}} = 1{,}1–1{,}3$ — коэффициент запаса, учитывающий влияние динамических нагрузок в период разгона и торможения.

Для ММ вращательного движения требуемую мощность двигателя, Вт, определяют по формуле:

$$P = \frac{T_{\text{Н}} \omega_{\text{вых}} K_{\text{дин}}}{\eta}, \tag{3.2}$$

где $T_{\text{Н}}$ — момент сопротивления на выходном звене, Н·м; $\omega_{\text{вых}}$ — угловая скорость выходного звена, $с^{-1}$.

Формулу (3.2) следует использовать с учетом предполагаемого типа двигателя. В том случае, если двигатель способен развивать пусковой момент, значительно превышающий номинальный, коэффициент $K_{\text{дин}}$ может быть принят равным единице. В частности, это касается асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором 4А, АИР и 5АИ, которые имеют отношение пускового момента к номинальному не менее двух.

Так как двигатели одной и той же мощности имеют разные номинальные вращающие моменты $T_{ном}$, то необходимо определить требуемый момент двигателя, Н·м:

$$T_{д.тр.} = \frac{T_{II}}{i\eta}, \tag{3.3}$$

где i — передаточное отношение преобразователя движения.

Окончательно тип двигателя выбирают по каталогам исходя из условий:

$$P_д \geq P; \tag{3.4}$$

$$T_{ном} \geq T_{д.тр.} \tag{3.5}$$

Предварительный выбор вентильного бесконтактного моментного двигателя серии ДБМ осуществляют для ММ без преобразователя движения по пусковому моменту $T_п$, равному статическому синхронизирующему моменту $T_с$ (см. табл. 2.3), для ММ с преобразователем движения — по приведенной выше методике.

Для ММ, работающих в повторно-кратковременном режиме, должна быть задана циклограмма нагружения (рис. 3.1).

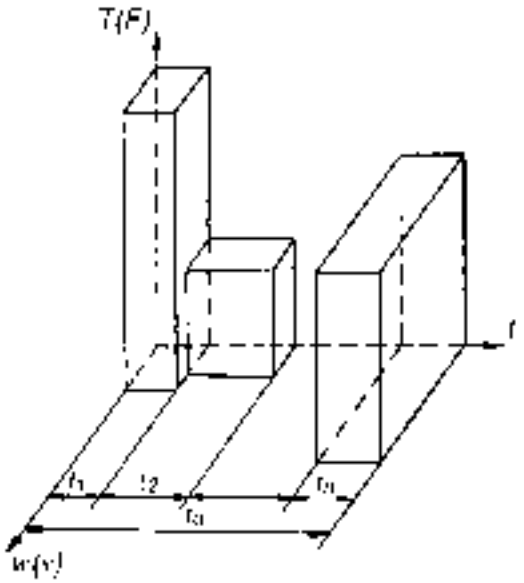


Рис. 3.1. Циклограмма нагружения мехатронного модуля

В этом случае, учитывая, что время разгона и торможения значительно меньше времени установившегося движения, можно определить значение требуемой среднеквадратичной статической мощности, приведенной к валу двигателя, Вт:

$$P_{\text{С}} = \frac{\sqrt{\sum_{\text{К}=1}^{n}\left(P_{\text{СК}} \cdot \frac{\omega_{\text{ном}}}{\omega_{\text{РК}}}\right)^2 \cdot t_{\text{РК}}^2}}{\sum_{\text{К}=1}^{\text{n}} \beta_{w_{\text{К}}} \cdot t_{\text{РК}}} K_{\text{дин}}. \qquad (3.6)$$

В формуле (3.6):

– $P_{\text{СК}}$ — требуемая статическая мощность двигателя на K-м рабочем участке нагрузочной циклограммы двигателя, Вт; для ММ линейного движения:

$$P_{\text{СК}} = \frac{F_{\text{НК}} v_{\text{К}}}{\eta}, \qquad (3.7)$$

где $F_{\text{НК}}$ — сила сопротивления на K-м рабочем участке циклограммы, Н; $v_{\text{К}}$ — линейная скорость выходного звена на K-м рабочем участке циклограммы, м/с; для ММ вращательного движения:

$$P_{\text{СК}} = \frac{T_{\text{НК}} \omega_{\text{К}}}{\eta}, \qquad (3.8)$$

где $T_{\text{НК}}$ — момент сопротивления на K-м рабочем участке циклограммы, Н·м ; $\omega_{\text{К}}$ — угловая скорость выходного звена на K-м рабочем участке циклограммы, с^{-1};

– n — число включенных состояний двигателя за цикл;

– $\omega_{\text{ном}}$ — номинальная скорость вращения вала двигателя, с^{-1};

– $\omega_{\text{РК}}$ — рабочая скорость вращения вала двигателя на K-м рабочем участке циклограммы, с^{-1};

– $t_{\text{РК}}$ — длительность K-го рабочего участка циклограммы, с;

– β_{w_E} — коэффициент, учитывающий теплоотдачу при понижении скорости вращения двигателя по отношению к номинальной, вызванном условиями обеспечения требуемого технологического процесса, определяемый по формуле:

$$\beta_{w_E} = \beta_o + (1 - \beta_o)\frac{\omega_{РК}}{\omega_{ном}}, \tag{3.9}$$

где β_o = 0,7–0,78 — для двигателей закрытого исполнения.

Требуемый среднеквадратичный момент двигателя:

$$T_c = \frac{\sqrt{\sum_{к=1}^{n} T_{НК}^2 \cdot t_{РК}^2}}{\sum_{к=1}^{n} t_{РК}}. \tag{3.10}$$

Тип двигателя выбирают по каталогам, исходя из следующих условий:

$$P_д \geq P_c; \tag{3.11}$$

$$T_{ном} \geq T_c. \tag{3.12}$$

3.1.3. Энергетический расчет универсального мехатронного модуля при значительных динамических нагрузках

Исходными данными при расчете универсального ММ при значительных динамических нагрузках являются:

– структурная схема ММ;

– приложенная внешняя нагрузка $M_Н$ ($T_Н$ или $F_Н$);

– требуемая скорость (линейная $v_{вых}$ или угловая $\omega_{вых}$) выходного звена;

– момент инерции $J_н$ (масса $m_н$) объекта управления;

– требуемое ускорение $E_{вых}$ (угловое $\varepsilon_{вых}$ или линейное $a_{вых}$) выходного звена.

Длительность разгона и торможения значительно меньше периода установившегося движения, поэтому динамические нагрузки оказывают влияние на работу двигателя очень короткий промежуток времени. Это дает возможность определить мощность двигателя и предварительно его выбрать по методике, изложенной выше, т.е. без учета динамических нагрузок.

Влияние динамических нагрузок на величину момента двигателя может быть значительным. Поэтому необходимо определить требуемый момент двигателя с учетом динамических нагрузок по формуле:

$$T_{\text{д.тр.max}} = \frac{T_{\text{Н}} + T_{\text{дин}}}{u\eta}, \tag{3.13}$$

где $T_{\text{дин}}$ — динамический момент, вызванный ускоренным движением вращающихся частей ММ и объекта управления, приведенный к выходному звену, Н·м, равный:

$$T_{\text{дин}} = \left(J_{\text{д}} u^2 + J_{\text{пд}} + J_{\text{н}}\right)\varepsilon_{\text{вых}}, \tag{3.14}$$

$J_{\text{д}}$ — момент инерции ротора двигателя, кг·м^2; $J_{\text{пд}}$ — момент инерции вращающихся частей преобразователя движения, кг·м^2, равный:

$$J_{\text{пд}} \approx (0{,}1...0{,}3) J_{\text{д}} u^2, \tag{3.15}$$

$J_{\text{н}}$ — момент инерции объекта управления, кг·м^2.

Окончательно тип электродвигателя выбирают по стандартам исходя из условий:

$$P_{\text{д}} \geq P; \tag{3.16}$$

$$T_{\text{ном}} \geq T_{\text{д.тр}}; \tag{3.17}$$

$$T_{\text{д.max}} \geq T_{\text{д.тр.max}}, \tag{3.18}$$

где $T_{\text{д.max}}$ — максимальный момент двигателя (задается в стандартах).

При отсутствии данных приближенно можно принимать:

$$T_{\text{д.max}} \approx (2{,}0...2{,}2) T_{\text{ном}}. \tag{3.19}$$

Возвращаясь к формуле (3.2), можно сделать вывод, что двигатели 4А, АИР и 5АИ удовлетворяют условию (3.19).

В случае невыполнения указанных условий необходимо выбрать двигатель с бóльшим максимальным вращающим моментом.

3.1.4. Оптимизация выбора силовых элементов

Выбор варианта привода (двигателя и преобразователя движения) ММ может быть осуществлен неоднозначно, поэтому при его конструировании следует стремиться к оптимальному решению. Необходимо выбрать *критерий оценки качества* варианта. Оптимальным считается тот, которому соответствует экстремальное значение критерия.

В инженерной практике в качестве критериев оптимизации применяют различные показатели:

- время перемещения выходного звена на заданное расстояние;
- время согласования скорости выходного звена с заданным значением;
- минимизация массы и габаритов ММ;
- энергопотребление ММ при выполнении типовых движений.

Результат конструирования в значительной степени зависит от того, насколько удачно разработчик выберет необходимый критерий.

Например, выбор в качестве критерия максимального углового ускорения ε_{max} выходного звена ориентирован на ММ, работающие в составе высокопроизводительного оборудования. Для осуществления поставленной задачи необходимо определить оптимальное передаточное отношение преобразователя движения по формуле:

$$u_{опт} = \frac{T_{Н}}{\eta \cdot T_{д.max}} + \sqrt{\left(\frac{T_{Н}}{\eta \cdot T_{д.max}}\right)^2 + \frac{J_{н}}{J_{д.пд}}}. \qquad (3.20)$$

Требуемый максимальный момент двигателя определяют в виде:

$$T_{дтр.max} = \frac{2}{\eta}\sqrt{J_{д.пд}\varepsilon_{max}\left(J_{н}\varepsilon_{max} + T_{Н}\right)}, \qquad (3.21)$$

где $J_{д.пд}$ — момент инерции ротора двигателя и приведенный к валу двигателя момент инерции преобразователя движения:

$$J_{д.пд} \approx (1{,}1 \ldots 1{,}3) J_{д}. \qquad (3.22)$$

Для выбора типа электродвигателя необходимо выполнение условия:

$$T_{\text{д.max}} \geq T_{\text{д.тр.max}}. \tag{3.23}$$

Если условие (3.23) не выполняется, необходимо выбрать двигатель с большим максимальным вращающим моментом.

Для выбранного привода с оптимальным передаточным отношением необходимо выполнение условия:

$$\frac{\omega_{\text{ном}}}{u_{\text{опт}}} \geq \omega_{\text{вых}}. \tag{3.24}$$

При невыполнении условия (3.24) следует выбрать двигатель с бóльшими скоростными возможностями и провести перерасчет мехатронного модуля.

3.2. РАСЧЕТ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДВИЖЕНИЯ

3.2.1. Предварительный выбор передачи по общим критериям

Критерием для выбора передачи называется техническое требование к ММ, позволяющее выделить из перечня механических передач те, конструкции которых позволяют обеспечить его выполнение.

Если же техническое требование может быть реализовано передачами различных типов, то критерием для выбора оно, очевидно, являться не может. Например, практически все передачи с жесткими звеньями способны обеспечить перемещение рабочего органа с точностью ± 1 мм. Следовательно, подобное техническое требование не может служить основанием для выбора передачи конкретного типа, т.е. не входит в число критериев.

С ужесточением технического требования до некоторого предела оно переходит в разряд критериев. Пусть техническим требованием оговаривается точность перемещения рабочего органа ± 0,01 мм. В этом случае оно, безусловно, является критерием, которому удовлетворяет далеко не каждая передача.

Критерии подразделяются на *общие и специальные*.

Общими называются критерии, входящие в техническое задание практически любого ММ. К ним относятся:

– передаточное отношение преобразователя движения;

– КПД;

– вид движения и скорость (линейная или угловая) рабочего органа;

– максимальные допустимые габариты и масса;

– обусловленные заказчиком стоимость изготовления и эксплуатационные расходы.

Специальными называются критерии, обусловленные техническими требованиями, которые связаны с конкретным назначением ММ. К ним относятся:

– допустимая кинематическая погрешность перемещений рабочего органа;

– допустимая величина мертвого хода (для реверсивного ММ);

– обеспечение самоторможения;

– прочие критерии (определенная конфигурация, способ крепления и др.).

В ряде случаев выбор передачи может быть произведен уже на основании анализа общих критериев.

Передаточное отношение — один из важнейших параметров передачи (применительно к зубчатым, червячным, планетарным и волновым передачам используется термин *передаточное число*).

Для обеспечения заданного передаточного отношения часто применяют многоступенчатые передачи. Например, передаточное число цилиндрической зубчатой передачи в принципе не ограничено. Однако, начиная уже с $u = 6{,}3$, целесообразно от одноступенчатой передачи перейти к двухступенчатому редуктору. Конструкция усложняется, но становится компактной и малогабаритной, что благоприятно сказывается на ММ в целом. Существенный эффект увеличения передаточного числа дают комбинации из передач различных типов, например, червячной и зубчатой цилиндрической. Червячно-цилиндрический редуктор без особых трудностей может быть выполнен с $u = 315$.

Передачи винт-гайка скольжения (ВГС), шарико-винтовые (ШВП), роликовинтовые (РВП) и реечные, предназначенные для преобразования вращательного движения в поступательное или, наоборот, поступательного во вращательное, характеризуются передаточным отношением, имеющим размерность.

Передаточное отношение при преобразовании вращательного движения в поступательное равно:

$$u_{\text{ВП}} = \frac{\omega_1}{v_2}, \qquad (3.25)$$

при преобразовании поступательного движения во вращательное:

$$u_{\text{ПВ}} = \frac{v_2}{\omega_1}, \tag{3.26}$$

где ω_1 — угловая скорость вращающегося звена, с $^{-1}$; v_2 — скорость движения поступательно перемещающегося звена, м/с.

Для ММ, предназначенного к эксплуатации при больших нагрузках и в напряженном режиме (большая продолжительность включения, высокие скорости рабочего органа), существенным становится такой критерий, как КПД. Помимо того, что от его величины зависят энергозатраты ММ, нужно также принимать во внимание следующее соображение.

Низкий КПД характерен для передач, работа которых сопровождается интенсивным относительным скольжением звеньев, т.е. червячной и ВГС. Эксплуатация таких передач в тяжелом режиме сопровождается комплексом отрицательных последствий: быстрым абразивным износом контактирующих поверхностей, нагревом, увеличением кинематической погрешности и мертвого хода.

Не все передачи способны обеспечить требуемую быстроходность рабочего органа ММ. Трудности при конструировании возникают не только тогда, когда задана высокая скорость выходного звена, но и когда нужно придать ему сверхнизкую, так называемую ползучую, скорость. В последнем случае может существовать принципиальная возможность использования, например, многоступенчатого цилиндрического зубчатого редуктора, но это будет настолько громоздкий механизм, что он не пройдет по критериям габаритов и стоимости изготовления.

Смысл последних двух критериев — максимальные допустимые габариты и масса, стоимость изготовления и эксплуатационные расходы — понятен и пояснений не требует. Оценка по ним требует от конструктора умения сопоставить передачи хотя бы качественно, по принципу «больше — меньше», что, в свою очередь, подразумевает представление о технологии изготовления передач. При ориентировочном определении массы могут помочь эмпирические зависимости массы различных типов редукторов от их главного параметра:

– одноступенчатый цилиндрический редуктор:

$$m = 8000 a_w^{2,5}, \tag{3.27}$$

– двухступенчатый цилиндрический редуктор:

$$m = 10240 a_{wT}^{2,5}, \tag{3.28}$$

– коническо-цилиндрический редуктор:

$$m = 12300 a_{wT}^{2,5}, \tag{3.29}$$

– червячный редуктор:

$$m = 24900 a_w^3, \tag{3.30}$$

где m — масса редуктора, кг; a_w — межосевое расстояние, м; a_{wT} — межосевое расстояние тихоходной ступени, м.

Формулы (3.27)–(3.30) получены для редукторов с чугунными корпусами. При выполнении корпуса из сплава на основе алюминия значение массы уменьшается в 1,5–2 раза.

Значения некоторых общих критериев, характерные для различных механических передач, приведены в табл. 3.1, 3.2.

Таблица 3.1

Значения общих критериев для передач вращения

Передача	Критерий		
	u	КПД	ω_{po}, $с^{-1}$
Зубчатая цилиндрическая	1–12,5 (1–6,3)	0,98	150–12 (150–23,8)
Цилиндрический двухступенчатый редуктор	6,3–63 (8–40)	0,96	23,8–2,38 (18,8–3,75)
Зубчатая коническая	1–5	0,97	150–30
Коническо-цилиндрический редуктор	10–40 (10–31,5)	0,95	15–3,75 (15–4,76)
Планетарная схемы 2*K*-*H*	3–9 (4–6)	0,97	50–16,7 (37,5–25)
Волновая	63–400 (80–315)	0,87–0,81	2,38–0,375 (1,88–0,476)

Передача	Критерий		
	u	КПД	$\omega_{ро}$, $с^{-1}$
Червячная	8–80 (10–32)	0,95–0,7	18,8–1,88 (15–4,69)

Примечания:

1. $\omega_{ро}$ — угловая скорость рабочего органа при угловой скорости вала двигателя 150 $с^{-1}$.
2. В скобках указаны диапазоны оптимальных значений.

Таблица 3.2

Значения общих критериев для вращательно-поступательных передач

Передача	Критерий		
	$u_{ВП}$, $м^{-1}$	КПД	$v_{ро}$, м/с
Реечная	10–200	0,96	15 (≤ 1,0)
Винт-гайка скольжения	150–3 000	≤ 0,7	1,6 (≤ 0,1)
Шарико-винтовая	150–3 000 (300–2 000)	0,9–0,95	3,0 (≤ 1,0)

Примечания:

1. $v_{ро}$ — максимальная скорость рабочего органа.
2. В скобках указаны диапазоны оптимальных значений.

По данным табл. 3.1 отметим, что многоступенчатые планетарные редукторы чаще всего образуются путем последовательного соединения передач схемы 2*К-Н*. В ряде случаев целесообразен синтез преобразователя движения в виде комбинации передач различных типов, как это уже было показано на примере червячно-цилиндрического редуктора.

Определение граничных значений критериев для оценки вращательно-поступательных передач затруднительно. В первую очередь это касается передачи ВГС (и вообще характерно для передач с интенсивным скольжением рабочих поверхностей). Величины КПД передач лежат в очень широких пределах. Значение КПД, приведенное в табл. 3.2, является максимальным, обычно же оно не превышает 0,5. То же можно сказать и о величине скорости рабочего органа. Оптимальное значение для передачи ВГС $v_{ро} \le 0{,}1$ м/с получено по наибольшему значению скорости относительного скольжения в винтовой паре $v_{ск} = 0{,}25$ м/с.

Диапазон оптимальных значений для ЩВП $v_{ро} \le 1{,}0$ м/с получен при допущении, что частота вращения винта $n_В \le 3\,000$ об/мин.

Оценка передач по общим критериям невозможна без знания их конструктивных и технологических особенностей.

Цилиндрическая зубчатая передача может быть выполнена с внешним либо с внутренним зацеплением. Передача с внутренним зацеплением имеет меньшие габариты, но конструктивно и технологически сложнее передачи с внешним зацеплением, поэтому ее применение должно быть обосновано.

Во всех случаях следует стремиться к использованию косозубых передач: они имеют меньшие габариты и способны обеспечивать окружные скорости до 30 м/с при незначительном технологическом усложнении.

Для получения наименьших габаритов двухступенчатого редуктора важно правильно распределить общее передаточное число между ступенями (табл. 3.3, 3.4). Значения общего передаточного числа u, а также передаточных чисел быстроходной ступени $u_Б$ и тихоходной ступени $u_Т$ даны в соответствии со стандартным рядом.

Таблица 3.3

Передаточные числа ступеней трехосных цилиндрических редукторов

u	10	12,5	14	16	18	20	22,4	25	28	31,5	≥ 35,5
$u_Б$	3,55	4	4,5	5	5,6		6,3	7,1		8	9
$u_Т$	2,8	3,15				3,55			4		≥ 4

Таблица 3.4

Передаточные числа ступеней соосных цилиндрических редукторов

u	10	12,5	14	16	18	20	22,4	25	28	31,5	35,5	≥ 40
$u_Б$	4,5	5	5,6		6,3	7,1		8	9		10	
$u_Т$	2,24	2,5		2,8			3,15			3,55		≥ 4

Следует отметить, что от ММ, как правило, требуется точное выполнение задания в части передаточного числа, и отступление от стандарта допустимо.

В силу особенностей технологии изготовления *конических передач* рекомендуется выполнять их с передаточными числами $u \leq 5$. Это ограничение, в свою очередь, приводит к необходимости уже при $u > 5$ использовать конические передачи в составе двухступенчатых, обычно коническо-цилиндрических, редукторов. Нагрузочная способность конических передач ниже (при равных массах), чем цилиндрических, поэтому конической делают быстроходную ступень.

Учитывая это обстоятельство, а также то, что ММ, как правило, характеризуются компактностью и малыми размерами, далее будут рассматриваться передачи с внешними конусными расстояниями 50 мм $\leq R_e \leq$ 100 мм.

Реечные передачи наряду с ВГС, ШВП и РВП используются для преобразования вращательного движения в поступательное и так же, как ШВП, для преобразования поступательного движения во вращательное.

Преимуществами реечной передачи по сравнению с передачей ВГС являются высокий КПД и менее интенсивный износ деталей, а по сравнению с ШВП — простота конструкции и низкая стоимость. Однако, как это видно из табл. 3.2, ее передаточное отношение на 1–2 порядка меньше, чем у винтовых передач. Следовательно, реечная передача по сравнению с ними более скоростная.

Червячные передачи обычно выполняют с передаточными числами $u \geq 8$. Достоинствами червячных передач являются возможность реализации в одной ступени большого передаточного числа, плавность и бесшумность работы, обеспечение самоторможения при числе витков червяка $z = 1$.

Необходимо учитывать и недостатки червячных передач: относительно низкий КПД (особенно при больших u), опасность перегрева, повышенный износ зубьев колеса.

На самоторможение червячной передачи можно рассчитывать в том случае, если нагрузка не имеет вибрационного характера.

Диапазон передаточных чисел *волновых зубчатых передач*: $80 \leq u \leq 400$.

Вследствие многопарности зацепления для этих передач характерны весьма малые значения кинематической погрешности и мертвого хода. При сравнительно малых габаритах и массе волновые передачи способны создавать на выходном звене крутящие моменты до 150 кН·м. На волновом принципе основаны механизмы для передачи вращения в герметично закрытое пространство. В настоящее время волновые передачи представляются весьма перспективными, область их использования интенсивно расширяется.

Есть, однако, у волновых передач и серьезные недостатки, главный из которых — сложность изготовления, а это значит — высокая стоимость. Кроме того, максимальная частота вращения генератора волн (т.е. быстроходного ва-

ла) с гибким подшипником ограничивается температурой нагрева и для диаметров гибких колес 50,8–203 мм равна 3 500 об/мин, а для диаметров 254–407 мм — 1 750 об/мин. В ряде случаев это приводит либо к необходимости перехода на другую, менее совершенную конструкцию генератора волн, либо вообще к отказу от применения волновой передачи. Следует также указать высокую чувствительность передачи к качеству смазки, так как мелкие зубья (применяются модули 0,3–1,25 мм) в условиях интенсивного скольжения при наличии абразивных частиц быстро изнашиваются.

Передачи ВГС предназначены в основном для преобразования вращательного движения в поступательное и лишь в редких случаях — поступательного во вращательное.

Конструкции передач просты и технологичны. Передачи работают плавно и бесшумно, имеют высокую надежность, способны обеспечивать микроперемещения, при однозаходной резьбе обладают свойством самоторможения.

Недостатки передач: низкий КПД (обычно не выше 0,5) и интенсивный износ вследствие трения скольжения между витками винта и гайки.

ШВП обладают такими положительными качествами, как высокий КПД (0,9–0,95), небольшой износ, высокая точность хода, возможность работы без смазки. Однако по сравнению с передачей ВГС они значительно сложнее по конструкции и дороже. К недостаткам их также относится невозможность самоторможения.

РВП характеризуются весьма высокой нагрузочной способностью, осевой жесткостью и неприхотливостью к условиям эксплуатации. Они позволяют достичь бóльших по сравнению с ШВП передаточных отношений, обеспечивают весьма высокую точность позиционирования и более компактны. Данные передачи самотормозящиеся.

Особенностью конструкции планетарных передач является многопоточность, заключающаяся в параллельной работе нескольких зубчатых пар. Распределение нагрузки по потокам позволяет уменьшить габариты и массу редуктора в целом.

Конструкции планетарных редукторов чрезвычайно многообразны. Среди них есть механизмы с весьма большими передаточными числами (до 10 000), например эксцентриково-планетарный редуктор. Однако чаще всего используется, как было сказано выше, передача по схеме 2*К-Н*.

Планетарные передачи обладают удобной для применения в ММ конструктивной особенностью: они соосные. Это облегчает компоновку модулей и уменьшает их габаритные размеры.

Недостатки планетарных передач по сравнению с обычными цилиндрическими: сложность конструкции, повышенные требования к точности изготовления и монтажа, существенное снижение КПД с увеличением передаточного числа.

Весьма перспективны передачи, по конструктивной схеме подобные эксцентриково-планетарной, но с другим, не эвольвентным, зацеплением (например, планетарно-цевочным), позволяющим обойтись меньшими числами зубьев в паре шестерня-колесо, а потому более простым в изготовлении.

Далее будут приведены методики расчета названных выше передач как преобразователей движения ММ.

3.2.2. Особенности расчета преобразователей движения мехатронных модулей

В расчетах преобразователей движения ММ имеется ряд отличий от расчетов передач общего назначения вследствие значительной разницы в требованиях, предъявляемых к этим категориям механизмов.

Рассматривая же требования, следует начать с такого фундаментального показателя, как стоимость изготовления.

Для передач общего назначения стоимость изготовления является одним из основных критериев выбора материалов и термообработки, технологии изготовления, средств и способов смазки и т.д., а размеры и масса отступают на второй план.

В передачах ММ, наоборот, выше ценятся компактность, малые габариты и масса, а стоимость имеет гораздо меньшее значение. Отсюда — изготовление деталей передач из высокопрочных сталей, а корпусов — из легких сплавов и композитов, применение новейших разработок в области конструирования и эксплуатации механизмов и т.п.

Как правило, в техническом задании на передачу общего назначения отсутствуют какие-либо требования к точности перемещения рабочего органа. Приводы, в состав которых входят эти передачи, либо вообще не предназначены для отработки точных перемещений, либо достаточная для выполнения поставленной задачи точность обеспечивается специальными устройствами, а передачи «от ответственности освобождаются». Исключение составляют ВГС, ШВП и РВП, поскольку сама конструкция их способствует перемещениям с повышенной точностью.

Для преобразователей движения ММ требование кинематической точности и ограничение мертвого хода вполне типичны. Зачастую ММ как раз и предназначен для совершения перемещений с высокой точностью. А это, в свою очередь, накладывает отпечаток на расчет и саму конструкцию передачи. Изменяется вид сопряжения зубчатых колес, назначается более высокая степень точности, принимаются конструктивные меры для устранения радиальных и осевых зазоров в подшипниковых опорах.

В большинстве случаев передачи общего назначения разрабатываются в расчете на тяжелый и весьма тяжелый режимы эксплуатации. Это обусловливает наименьшие значения допускаемых напряжений, а в итоге — наибольшие размеры деталей передач.

Передачи ММ работают в основном в повторно-кратковременных режимах (легком и среднем). Появляется возможность повышения напряжений, что в совокупности с высокими прочностными характеристиками материалов приводит к уменьшению размеров ответственных деталей. Снижается их жесткость, растут упругие деформации и связанный с ними мертвый ход. Поэтому при расчете передаточных механизмов ММ необходимо уделять больше внимания вопросам жесткости деталей.

Следует отметить такую особенность, как более скрупулезное приведение размеров деталей передачи ММ в соответствие с результатами расчетов. В качестве примера этого положения может быть приведен вал колеса зубчатой передачи.

Согласно принятой методике конструирования валов, диаметры участков вала назначают предварительно, а затем проверяют на усталостную прочность. Пусть при минимальном допускаемом запасе усталостной прочности $[s]_{min} = 1{,}6$ расчетный запас прочности в наиболее нагруженном сечении составил $s = 4$. Для передачи общего назначения результат считают удовлетворительным и размеры вала оставляют без изменений. Если же это передача ММ, к которому предъявляется жесткое требование минимизации массы, то необходимо решить вопрос о возможности приближения s к $[s]$ путем уменьшения диаметров ступенек.

Разумеется, далеко не к каждому преобразователю движения ММ предъявляется весь комплекс названных выше требований. В случае, если по техническому заданию ММ подобен механизму общего назначения, то и расчет его передач может быть произведен по соответствующей методике.

Методика разработки преобразователя движения ММ содержит следующие этапы:

– выбор типа преобразователя по общим и специальным критериям;

– проектный расчет передачи с целью определения ее основных конструктивных параметров;

– проверочный расчет передачи;

– эскизная компоновка преобразователя движения;

– конструирование валов и предварительный выбор подшипников;

– определение размеров элементов корпуса;

– разработка эскиза преобразователя движения;

– проверочные расчеты подшипников, валов, соединений;

– выбор способа смазки и смазочных материалов;

– разработка чертежно-конструкторской документации.

Ниже будут рассмотрены методики расчета различных передач.

3.2.3. Цилиндрические зубчатые передачи

Расчет одноступенчатой передачи и двухступенчатого редуктора основан на методике расчета передач общего назначения. При расчете передачи для ММ нужно учитывать следующие рекомендации:

– передача должна быть косозубой, если в техническом задании специально не оговорено изготовление прямозубой;

– твердость шестерни и колеса принимать либо ($HB_1 > 350$; $HB_2 > 350$), либо ($HB_1 > 350$; $HB_2 < 350$);

– в отличие от передач общего назначения, величину модуля m_n можно принимать меньше 1,5 мм из стандартного ряда, мм: 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25;

– при определении u, a_w, b_1, b_2 требования технического задания имеют преимущество перед требованиями стандарта; например, если по конструкции ММ необходимо, чтобы a_w было равно 120 мм, следует принимать $a_w = 120$ мм, несмотря на расхождение со стандартом (ближайшее стандартное значение $a_w = 125$ мм);

– при проектировании двухступенчатого редуктора следует отдавать предпочтение соосной схеме, так как она повышает компактность ММ.

Обозначения: b_1 — ширина венца шестерни; b_2 — ширина венца колеса.

В остальном расчет следует выполнять по соответствующей литературе.

3.2.4. Конические зубчатые передачи

Расчет конических передач основан на методике расчета передач общего назначения.

Дополнительные рекомендации:

– при нереверсивном характере нагрузки передача должна иметь круговые зубья, при реверсивной нагрузке передача прямозубая;

– передаточное число $u \le 5$; при необходимости обеспечения $u > 5$ целесообразно перейти от одноступенчатой передачи к коническо-цилиндрическому редуктору и передаточные числа ступеней выбирать по табл. 3.5;

– твердость шестерни и колеса передачи с круговым зубом — см. п. 3.2.3;

– о величине модулей — см. п. 3.2.3.

Таблица 3.5

Рекомендуемые передаточные числа коническо-цилиндрического редуктора

Передаточное число редуктора u	8; 9	10; 11,2	12,5; 14	16	≥ 18
Передаточное числобыстроходной ступени $u_Б$	3,15	3,55	4	4,5	5
Примечание. В случае расхождения передаточного числа, определенного по техническому заданию, со стандартом преимущество имеет требование технического задания.					

3.2.5. Реечные передачи

3.2.5.1. *Исходные данные* (в соответствии с техническим заданием на ММ):

– вид передачи — прямозубая;

– номинальная нагрузка на выходном звене (сила на рейке F_t, Н);

– номинальная скорость выходного звена (линейная скорость рейки v, м/с);

– максимальное рабочее перемещение выходного звена (рейки H_2, мм);

– нагрузочная диаграмма (циклограмма);

– срок службы (долговечность) передачи;

– прочие (массогабаритные показатели, способ крепления, конфигурация корпуса и т.д.).

Для определенности принято, что ведущим звеном является шестерня.

На рис. 3.2 показаны прямозубые и косозубая реечные передачи различных размеров.



Рис. 3.2. Реечные передачи

3.2.5.2. *Кинематический расчет* начинается с предварительного определения диаметра делительной окружности шестерни d', мм, по формуле:

$$d' = 0,92\sqrt{F_t}. \tag{3.31}$$

Полученное значение округлить до целого.

3.2.5.3. *Проектный расчет* начинается с определения необходимых допускаемых контактных напряжений для материалов шестерни и рейки и выбора соответствующих марок сталей и способов упрочнения.

Необходимое допускаемое контактное напряжение для шестерни:

$$[\sigma_H] = \frac{487}{d'}\sqrt{\frac{F_t K_{H\beta}}{\psi_{bd}}}, \tag{3.32}$$

где $K_{H\beta}$ — коэффициент неравномерности распределения нагрузки по ширине зуба (табл. 3.6); ψ_{bd} — коэффициент относительной ширины шестерни.

Величина ψ_{bd} определяется отношением $\psi_{bd} = b/d$, но для прямозубой передачи наименьшее значение делительного диаметра шестерни $d_{min} = 17m$, а наибольшая рекомендуемая ширина рейки $b_{max} = 10m$. Подстановка этих значений в указанное отношение дает наибольшую величину коэффициента ψ_{bd}: $\psi_{bdmax} = 10/17 \approx 0,59$.

Таблица 3.6

Значения коэффициентов $K_{H\beta}$, $K_{F\beta}$

Расположение шестерни относительно опор, тип опор	Твердость, *HB*	$K_{H\beta}$			$K_{F\beta}$		
		ψ_{bd}			ψ_{bd}		
		0,2	0,4	0,6	0,2	0,4	0,6
Консольное, шарикоподшипники	≤ 350	1,08	1,17	1,28	1,16	1,37	1,64
	> 350	1,22	1,44	–	1,33	1,7	–
Консольное, роликоподшипники	≤ 350	1,06	1,12	1,19	1,1	1,22	1,38
	> 350	1,1	1,25	1,45	1,2	1,44	1,71
Симметричное	≤ 350	1,01	1,02	1,03	1,01	1,03	1,05
	> 350			1,04	1,02	1,04	1,08
Несимметричное	≤ 350	1,03	1,05	1,07	1,05	1,1	1,17
	> 350	1,06	1,12	1,2	1,09	1,18	1,3

Затем определяют эквивалентное число циклов нагружения зуба шестерни контактными напряжениями по формуле:

$$N_{HE1} = 1{,}15 \cdot 10^6 \frac{CL_H}{d' t_{\text{ц}}} \sum_{i=1}^{k} \left(\frac{F_{ti}}{F_t} \right)^3 v_i t_i, \qquad (3.33)$$

где C — число реек, находящихся в зацеплении с шестерней; L_h — заданная техническим заданием долговечность передачи, ч; $t_{\text{ц}}$ — длительность одного технологического цикла, с; F_{ti} — сила на рейке на i-м участке циклограммы нагружения; v_i — скорость рейки на i-м участке циклограммы, м/с; t_i — длительность i-го участка циклограммы, с; k — число участков циклограммы.

Находят коэффициент долговечности при расчете по контактным напряжениям:

$$K_{HL1} = \sqrt[3]{\frac{N_{H01}}{N_{HE1}}}, \qquad (3.34)$$

где N_{H01} — базовое число циклов изменения напряжений для материала шестерни (табл. 3.7), можно также использовать формулу $N_{H01} \approx HB_{\text{ср}}{}^3$.

Таблица 3.7

Базовые числа циклов N_{H0}, N_{F0} изменения напряжений, млн циклов

Твердость поверхности зубьев									
HB	200	250	300	350	400	450	500	550	600
HRC	20	25	33	36	42	47	52	56	59
N_{H0}	10	12,5	25	35	50	65	85	110	150
N_{F0}	4								

Для объемно упрочненных шестерен K_{HL1} = 1–2,6 при $HB \le 350$, для поверхностно упрочненных — K_{HL1} = 1–1,8 при $HB > 350$. Если $N_{HE1} > N_{H01}$, то принимают $K_{HL1} = 1$.

Определяют предел контактной выносливости зубьев шестерни:

$$\sigma_{H\lim b1} = [\sigma_H]_1 \frac{S_H}{K_{HL_1}}, \qquad (3.35)$$

где S_H — коэффициент безопасности (S_H = 1,1 — для объемно упрочненных зубьев; S_H = 1,2 — для поверхностно упрочненных зубьев).

После этого, используя зависимости σ_{Hlimb1} от средней твердости поверхности зуба (см. табл. 3.8), находят значение средней твердости и принимают соответствующие марку стали и термообработку по табл. 3.9.

Таблица 3.8

Пределы контактной и изгибной выносливости

Твердость зубьев, HB, HRC	Вид термообработки	Предел контактной выносливости $\sigma_{H\lim b}$, МПа	Предел изгибной выносливости $\sigma_{F\lim b}$, МПа
HB ≤ 350	Нормализация, улучшение	2HB + 70	1,8HB
HRC 35–45	Объемная закалка	18HRC + 150	550
HRC45–63	Закалка ТВЧ	17HRC + 200	550–650
HRC55–63	Цементация	23HRC	750
	Нитроцементация		750–1 000

Таблица 3.9

Механические характеристики сталей

Марка стали	Предел прочности $\sigma_в$, МПа	Предел текучести $\sigma_т$, МПа	Твердость[1]	Термообработка[2]
40	600	320	192–228	У
45	800–900	550	223–250 НВ	У
	850–950	600	236–263 НВ	
50Г	800	550	241–285 НВ	У
40Х	800–900	550	230–257 НВ	У
	850–950	600	243–271 НВ	
	900–1 000	700	257–285 НВ	
40НХ	850–950	600	250–280 НВ	У
	900–1 000	700	265–290 НВ	
20ХН3А	1 000	850	293–341 НВ	У
38ХА	900	800	269–321 НВ	У
37ХН3А	1 100	950	321–387 НВ	У
40ХНМА	1 100	950	293–375 НВ	У
45	1 000	750	38–42 HRC	ОЗ
50	620	340	48–52 HRC	ОЗ
45	600	340	53–55 HRC	ПЗ
40Х	1 000	850	52–56 HRC	ПЗ
40ХН	800	500	51–57 HRC	ПЗ
20Х	800	650	20–32 HRC 57–63 HRC	ЦМ, З
18ХГТ	1 150	950	332–375 НВ 56–62 HRC	ЦМ, З
12ХН3А	1 000	800	26–42 HRC 56–63 HRC	ЦМ, З
12ХН3А	1 000	850	260–400 НВ 58–63 HRC	ЦМ, З
12Х2Н4А	1 200	1 000	280–400 НВ 60–65 HRC	ЦМ, З
20Х2Н4А	1 400	1 200	300–400 НВ 60–65 HRC	ЦМ, З
38ХМЮА	1 000	850	30–34 HRC	А
40Х	900	650	60 HRC 48–56 HRC	Ц, З
40ХН	920	700	50–54 HRC	Ц, З

Примечания:

1. Числитель — твердость сердцевины, знаменатель — поверхности.
2. Обозначения: У — улучшение; ОЗ — объемная закалка; ПЗ — поверхностная закалка; ЦМ — цементация, Ц — цианирование; А — азотирование.

Согласно рекомендациям для зубчатых передач назначают марку стали и термообработку рейки. Целесообразно марку стали принимать ту же, что и для шестерни.

Вычисляют эквивалентное число циклов нагружения зуба рейки контактными напряжениями по формуле:

$$N_{HE2} = N_{HE1}\frac{\pi d'}{Cl}, \tag{3.36}$$

и коэффициент долговечности:

$$K_{HL2} = \sqrt[3]{\frac{N_{H02}}{N_{HE2}}}, \tag{3.37}$$

где N_{H02} — базовое число циклов изменения напряжений для материала рейки.

Затем определяют допускаемое контактное напряжение для рейки:

$$[\sigma_H]_2 = \sigma_{\lim b2}\frac{K_{HL2}}{S_H}, \tag{3.38}$$

где σ_{Hlimb2} — предел контактной выносливости зубьев рейки.

Меньшее из двух напряжений $[\sigma]_{H1}$ и $[\sigma]_{H2}$ является допускаемым контактным напряжением $[\sigma]_H$ для прямозубой реечной передачи.

Допускаемые напряжения изгиба $[\sigma_F]_1$ и $[\sigma_F]_2$ определяются так же, как для зубчатых передач.

Определение геометрических параметров передачи производят следующим образом.

Из условия прочности на изгиб определяют модуль зубьев:

$$m \geq \frac{6{,}6F_t}{\psi_{bd}d'[\sigma_F]_1}. \tag{3.39}$$

Полученное значение модуля округляют до ближайшего из стандартного ряда, мм: 1; 1,15; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,25; 2,5; 2,75; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6…, а затем находят число зубьев шестерни по формуле:

$$z_1 = \frac{d'}{m} \geq 17. \tag{3.40}$$

Число z_1 округляют до целого и уточняют делительный диаметр шестерни:

$$d = mz_1. \tag{3.41}$$

Диаметры вершин и впадин зубьев шестерни равны:

$$d_a = d + 2m; \tag{3.42}$$

$$d_f = d - 2,5m. \tag{3.43}$$

Используя найденную величину m, определяют число зубьев рейки:

$$z_2 = \frac{H_2}{\pi m}. \tag{3.44}$$

Полученное z_2 округляют до целого в большую сторону.

Ширина рейки:

$$b_2 = \psi_{bd} d, \text{ мм}; \tag{3.45}$$

ширина шестерни:

$$b = b_2 + 0,6\sqrt{b_2}, \text{ мм}, \tag{3.46}$$

с округлением b и b_2 до целых чисел.

Передаточное отношение реечной передачи:

$$u_{\text{ВП}} = \frac{\omega}{v} = \frac{2000}{d}, \text{ мм}^{-1}. \tag{3.47}$$

Максимальный угол поворота шестерни равен:

$$\varphi_1 = \frac{2H_2}{d}, \text{ рад.} \tag{3.48}$$

Угловая скорость шестерни:

$$\omega = u_{\text{ВП}} v,\ \text{с}^{-1}. \tag{3.49}$$

3.2.5.4. Далее выполняют *проверочные расчеты*.

Определяют *фактические контактные напряжения* по формуле:

$$\sigma_H = 484 Z_\varepsilon \sqrt{\frac{F_t K_{H\beta} K_{Hv}}{db_2}},\ \text{МПа}, \tag{3.50}$$

где Z_ε — коэффициент суммарной длины контактных линий; K_{Hv} — коэффициент динамической нагрузки.

Значение Z_ε вычисляют по формуле:

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}}, \tag{3.51}$$

где ε_α — коэффициент торцевого перекрытия:

$$\varepsilon_\alpha = 1{,}88 - \frac{3{,}2}{z_1}. \tag{3.52}$$

Коэффициент K_{Hv} находят по табл. 3.10 в зависимости от скорости рейки v и степени точности передачи (см. табл. 3.15).

Таблица 3.10

Значения коэффициента K_{Hv}

Степень точности	Твердость зубьев*	Скорость рейки v, м/с					
		1	2	4	6	8	10
6	а	1,03	1,06	1,12	1,17	1,23	1,28
	б	1,02	1,04	1,07	1,1	1,15	1,18

Степень точности	Твердость зубьев*	Скорость рейки v, м/с					
		1	2	4	6	8	10
7	а	1,04	1,07	1,14	1,21	1,29	1,36
	б	1,03	1,05	1,09	1,14	1,19	1,24
Примечание. * Обозначение: а — шестерня и рейка нормализованные или улучшенные; шестерня закаленная, рейка нормализованная или улучшенная; б — шестерня и рейка закаленные							

Формула (3.50) справедлива для стальных деталей передачи.

Условие обеспечения контактной выносливости: $\sigma_H \le [\sigma_H]$. Допустимая недогрузка 5 %, перегрузка не допускается.

Проверку по *напряжениям изгиба* зуба шестерни выполняют по формуле:

$$\sigma_{F1} = 0,9 Y_{F1} \frac{F_t K_{F\beta} K_{Fv}}{b_2 m}, \text{ МПа}, \qquad (3.53)$$

где Y_{F1} — коэффициент формы зуба шестерни (табл. 3.11); K_{Fv} — коэффициент динамической нагрузки (табл. 3.12).

Таблица 3.11

Значения коэффициента Y_F

z	17	18	19	20	21	22	24	25	28	30
Y_F	4,3	4,25	4,18	4,13	4,1	4,08	4,03	3,97	3,9	3,87
z	32	35	40	45	50	60	80	100	150	рейка
Y_F	3,84	3,8	3,76	3,75	3,73		3,74	3,75	3,76	3,78

Условие обеспечения усталостной прочности зуба рейки по напряжениям изгиба:

$$\sigma_{F2} = 3,78 \frac{\sigma_{F1}}{Y_{F1}} \le [\sigma_F]_2. \qquad (3.54)$$

Условие *контактной прочности зубьев при кратковременной перегрузке* выражается формулой:

$$\sigma_{H\max} = \sigma_H \sqrt{\frac{T_{\text{пик}}}{T_{\text{ном}}}},\ \text{МПа}, \qquad (3.55)$$

где $T_{\text{пик}}$ — кратковременный (пиковый) момент на шестерне, $T_{\text{ном}}$ — наибольший момент на шестерне по циклограмме нагружения, т.е. наибольший из моментов при нормально протекающем рабочем процессе.

В тех случаях, когда данных о $T_{\text{пик}}$ нет, в качестве $T_{\text{пик}} / T_{\text{ном}}$ принимают кратность максимального момента по технической характеристике двигателя.

Допускаемое максимальное контактное напряжение при объемной термообработке $[\sigma]_{H\max} = 2{,}8\sigma_T$ (σ_T — предел текучести материала зубьев), при поверхностной термообработке $[\sigma]_{H\max} = 40HRC_{\text{ср}}$ ($HRC_{\text{ср}}$ — среднее значение твердости в диапазоне для принятого вида упрочнения).

Таблица 3.12

Значения коэффициента K_{Fv}

Степень точности	Твердость зубьев*	1	2	4	6	8
6	а	1,06	1,13	1,26	1,4	1,53
	б	1,02	1,04	1,08	1,11	1,14
7	а	1,08	1,16	1,33	1,5	1,67
	б	1,03	1,05	1,09	1,13	1,17
Примечание. * Обозначение: а — шестерня и рейка нормализованные или улучшенные; шестерня закаленная, рейка нормализованная или улучшенная; б — шестерня и рейка закаленные						

Условие изгибной прочности зубьев шестерни и рейки *при кратковременной перегрузке:*

$$\sigma_{F\max 1,2} = \sigma_{F1,2} \frac{T_{\text{пик}}}{T_{\text{ном}}} \le [\sigma_{F\max}]_{1,2}, \qquad (3.56)$$

где $[\sigma]_{F\max 1,2}$ — допускаемое максимальное напряжение изгиба соответственно для шестерни и колеса (при твердости зубьев $HB \le 350$ $[\sigma]_{F\max} \approx 0{,}8\sigma_T$; при $HB > 350$ $[\sigma]_{F\max} \approx 0{,}6\sigma_B$; σ_B — предел прочности материала зубьев).

В тех случаях, когда рабочая нагрузка сжимает рейку, необходима ее *проверка на устойчивость*.

Предварительно задают форму опасного сечения рейки. Наиболее простым с точки зрения изготовления и хорошо поддающимся расчету является прямоугольное сечение.

Затем производят проверку сечения на прочность по напряжениям сжатия:

$$\sigma_c = \frac{F_t}{b_2 h_p} \le \frac{\sigma_{т2}}{[s]}, \tag{3.57}$$

где h_p — высота опасного сечения; $[s] = 2$ — коэффициент запаса прочности.

Определяют наименьший радиус инерции опасного сечения по формуле:

$$i_{min} = 0,289 h_p \tag{3.58}$$

и гибкость рейки:

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{min}}, \tag{3.59}$$

где μ — коэффициент приведения длины стержня (табл. 3.13).

По величине λ и табл. 3.14 устанавливают коэффициент продольного изгиба φ и вычисляют допускаемое напряжение сжатия по условию устойчивости:

$$\sigma_y = \frac{\varphi \sigma_{т2}}{[s]}. \tag{3.60}$$

Таблица 3.13

Значение коэффициентов μ и ν

Схема закрепления рейки	μ	ν
	2	0,7
	1	2,2

Схема закрепления рейки	μ	ν
	0,7	3,4
	0,5	4,9

В том случае, если полученное по (3.57) напряжение сжатия не больше $[\sigma]_y$, т.е. $\sigma_c \le [\sigma]_y$, рейка проходит проверку на устойчивость. В противном случае необходимо увеличить размер h_p до h'_p:

$$h'_p = \frac{h_p \sigma_c}{[\sigma_y]}. \qquad (3.61)$$

Таблица 3.14

Значения коэффициента φ реек из сталей с $\sigma_{T2} \ge 320$ Мпа

λ	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
φ	0,95	0,87	0,79	0,65	0,43	0,3	0,23	0,19	0,15	0,13

Важным этапом проверочных расчетов является определение *кинематической погрешности* передачи и сравнение ее с предельно допустимой по техническому заданию.

В том случае, если нагрузка на рейку имеет реверсивный характер, то, кроме кинематической погрешности, необходимо найти *мертвый ход* передачи и сравнить его с предельно допустимым по техническому заданию.

3.2.6. Червячные передачи

Основа расчета — методика расчета передач общего назначения.

Дополнительные рекомендации:

– о величинах u, a_w — см. п. 3.2.3;

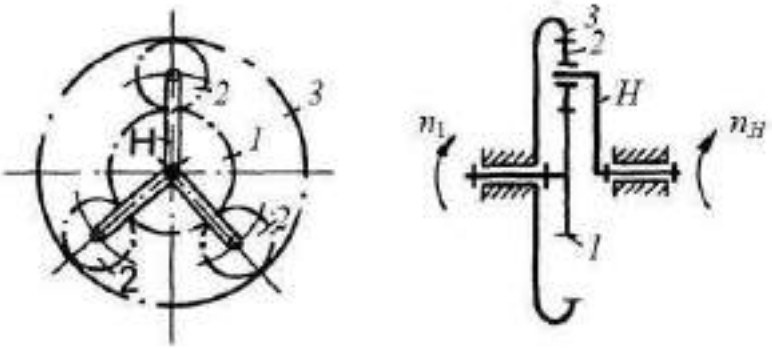
– о величинах модулей — см. п. 3.2.3;

– при необходимости обеспечения $u > 40$ целесообразно перейти от одноступенчатой передачи к червячно-цилиндрическому редуктору;

– при передаточном числе червячно-цилиндрического редуктора $u \leq 50$ принимать передаточное число быстроходной ступени $u_Б = 8$; при $u > 50$ принимать передаточное число тихоходной ступени $u_Т = 6{,}3$.

3.2.7. Планетарные зубчатые передачи

3.2.7.1. Конструкции планетарных передач весьма многообразны. Простейшая планетарная передача (рис. 3.3) состоит из центрального солнечного зубчатого колеса *1* с наружными зубьями, центрального корончатого зубчатого колеса *3* с внутренними зубьями, сателлитов *2* с внешними зубьями, которые входят в зацепление одновременно с солнечным и корончатым колесами, и водила H, на котором расположены оси сателлитов.



а



б

Рис. 3.3. Планетарная передача схемы 2*К*-*Н*:
а — схема; *б* — внешний вид

При закрепленном корончатом колесе *3* ($\omega_3 = 0$) вращение солнечного колеса *1* с частотой вращения n_1 и угловой скоростью ω_1 вызывает вращение сателлитов *2* относительно собственных осей с угловой скоростью ω_2, что вызывает качение сателлитов по корончатому колесу и приводит к их перемещению по круговой орбите радиуса R_H, а следовательно, и водила *H* с частотой вращения n_H и угловой скоростью ω_H.

Сателлиты вращаются относительно водила со скоростью $\omega_2^H = \omega_2 - \omega_H$ и вместе с водилом совершают переносное движение. Их движения напоминают движения планет, поэтому передачу и называют планетарной.

Основными звеньями планетарной передачи являются те, которые воспринимают внешние моменты. Такими звеньями являются солнечные и корончатые колеса, т.е. два центральных колеса (2*K*) и водило *H*. Сокращенное обозначение такого планетарного механизма «2*K*-*H*».

Планетарный механизм 2*K*-*H* наиболее часто используется в ММ, так как имеет высокий КПД и технологичную конструкцию. Поэтому ниже будет дана методика расчета именно этой схемы.

Подробно и полно планетарные передачи рассмотрены в специальной литературе. Здесь же следует сказать о весьма перспективной конструкции — так называемом эксцентриково-планетарном механизме, вариантом которого является механизм с параллельными кривошипами (рис. 3.4).

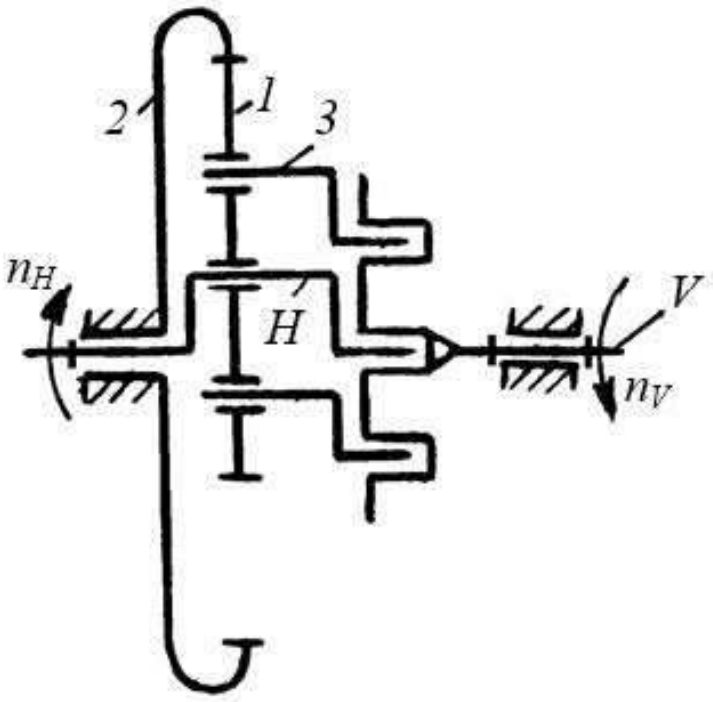


Рис. 3.4. Планетарный механизм
с параллельными кривошипами (схема *K*-*H*-*V*)

Планетарный механизм *K-H-V* имеет три основных звена: центральное колесо *2*, водило *H* и вал *V*. Водило представляет собой эксцентрик, на котором установлен сателлит *1*. Сателлит передает вращение на вал *V* кривошипами *3* — эксцентриками, эксцентриситет которых равен эксцентриситету водила.

За один оборот водила сателлит, совершая сложное плоское движение, поворачивается относительно своей оси на угол, соответствующий разности чисел зубьев центрального колеса и сателлита, в направлении, противоположном направлению вращения водила, т.е. передаточное число такого преобразователя движения равно:

$$u_{H-V}^{(2)} = -\frac{z_2}{z_2 - z_1}. \tag{3.62}$$

Для предотвращения заклинивания зубьев в зацеплении должно выполняться условие:

$$z_2 - z_1 \geq \begin{cases} 8 \text{ при } h_a^* = 1; \\ 7 \text{ при } h_a^* = 0{,}8, \end{cases} \tag{3.63}$$

где h_a^* — высота головки зуба.

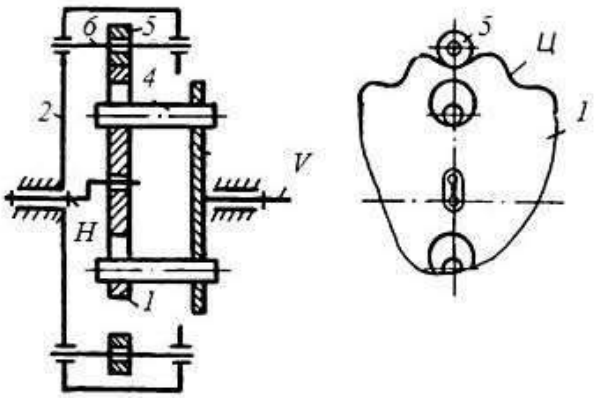
Очевидно, что при достаточно больших числах зубьев звеньев этой пары одна ступень передачи *K-H-V* может по передаточному числу заменить двухступенчатый цилиндрический редуктор.

Дальнейшие исследования в направлении уменьшения размеров и повышения технологичности изготовления передачи привели к появлению так называемого планетарно-цевочного редуктора (рис. 3.5), в котором вместо эвольвентного зацепления применяют цевочное.

Сателлит *1* имеет зубья, выполненные по циклоиде (Ц), и смонтирован на водиле *H*. Центральное колесо *2* содержит оси *6* с установленными на них с возможностью вращения цевками *5*, взаимодействующими с зубьями сателлита. Выходной вал *V* соединен с диском *3*, в отверстия которого с натягом вставлены пальцы *4*, входящие в отверстия сателлита. Пальцы, контактируя со стенками отверстий, выполняют функцию параллельных кривошипов в схеме по рис. 3.3.

Далее будет рассмотрена прямозубая планетарная передача, показанная на рис. 3.3.

3.2.7.2. Исходные данные — см. п. 3.2.5.



а



б

Рис. 3.5. Планетарно-цевочный редуктор схемы *К-Н-V*:
***а* — схема; *б* — в составе мотор-редуктора**

3.2.7.3. Целью кинематического расчета является определение чисел зубьев солнечного и корончатого колес и сателлита, обеспечивающих требуемое передаточное число, а также число сателлитов.

Передаточное число передачи 2*К-Н* равно:

$$u_{1-H}^{(3)} = 1 + \frac{z_3}{z_1}, \qquad (3.64)$$

где $u_{1-H}^{(3)}$ — переда очное число от солнечного колеса к водилу при неподвижном солнечном колесе.

Передаточное число данного механизма не должно превышать 8, в крайнем случае — 9. При необходимости обеспечения большего передаточного числа преобразователь движения выполняют многоступенчатым, причем каждая ступень представляет собой передачу по рис. 3.2.

Определение чисел зубьев колес планетарных передач производят обычно методом подбора, задаваясь числом зубьев солнечного колеса и обеспечивая при этом правильность зацепления. Число зубьев колес должно быть выбрано так, чтобы отсутствовали подрезание и заклинивание зубьев.

Следует задаться числом зубьев солнечного колеса, руководствуясь рекомендацией: для солнечного колеса, выполненного из стали нормализованной и улучшенной твердостью $HB \le 350$, – $z_1 \ge 24$; из стали закаленной ТВЧ твердостью $HRC \le 52$, – $z_1 \ge 21$; из стали цементованной твердостью $HRC \ge 52$, – $z_1 \ge 18$.

Минимальное число зубьев корончатого колеса:

$$z_{2\min} \ge \begin{cases} 85 \text{ при } h_a^* = 1; \\ 58 \text{ при } h_a^* = 0{,}8. \end{cases} \tag{3.65}$$

Задавшись z_1, предварительно находят z_3 по формуле:

$$z_3 = z_1\left(u_{1\text{-}H}^{(3)} - 1\right). \tag{3.66}$$

При подборе чисел зубьев колес необходимо учитывать условия *сборки*, *соосности* и *соседства сателлитов*.

Из условия соосности вычисляют число зубьев сателлита:

$$z_2 = \frac{z_3 - z_1}{2}. \tag{3.67}$$

Проверяют выполнение условия сборки:

$$\frac{z_3 + z_1}{C} = \gamma, \tag{3.68}$$

где C — число сателлитов (обычно $C = 3$); γ — целое число.

Выполнение условия соседства сателлитов выглядит следующим образом:

$$z_2 + 2 \le (z_1 + z_2) \cdot \sin\frac{\pi}{C}. \qquad (3.69)$$

При невыполнении какого-либо из условий изменяют числа зубьев колес на ± 1–3 зуба и добиваются выполнения условия. Следует иметь в виду, что числа зубьев колес z_1 и z_3 должны быть или только четные, или только нечетные.

После определения чисел зубьев находят фактическое передаточное число:

$$u = 1 + \frac{z_3}{z_1}. \qquad (3.70)$$

Вычисляют отклонение передаточного отношения:

$$\Delta u = \frac{\left|u - u_{1-H}^{(3)}\right|}{u_{1-H}^{(3)}} \cdot 100\% \le [\Delta u], \qquad (3.71)$$

где $[\Delta u]$ — допускаемое отклонение передаточного отношения, %, обычно принимают $[\Delta u] \le 4$ %.

При невыполнении этого условия необходимо число зубьев z_1 солнечного колеса уменьшить, снова найти числа зубьев всех остальных колес и провести проверку механизма по условиям соосности, сборки и соседства.

3.2.7.4. Выбор материалов планетарной зубчатой передачи производят по следующим рекомендациям.

Так как зуб солнечного колеса более часто входит в зацепление, чем зуб сателлита, то при твердости поверхности зубьев сателлита $HB \le 350$ твердость поверхности зубьев солнечного колеса назначают на 50–70 единиц выше, чем сателлита. При твердости поверхности зубьев сателлита $HB > 350$ твердости солнечного колеса и сателлита назначают одинаковыми. Характеристики сталей даны в табл. 3.9.

Для изготовления водил также используют стали. Корпуса планетарных передач ММ необходимо изготовлять из легких материалов и сплавов.

3.2.7.5. Допускаемые напряжения для зубьев пар центральное колесо — сателлит и сателлит — корончатое колесо определяют так же, как для передач общего назначения [14, 15].

3.2.7.6. Проектировочный расчет передачи начинают с определения межосевого расстояния пары солнечное колесо — сателлит по формуле:

$$a_w = K_a (u+1) \sqrt[3]{\frac{T_1 K_{H\beta} K_C}{[\sigma]_H^2 u^2 C \psi_{ba}}}, \text{ мм}, \tag{3.72}$$

где K_a — вспомогательный коэффициент (для прямозубых колес K_a = 490 МПа$^{1/3}$, для косозубых колес K_a = 430 МПа$^{1/3}$); u — передаточное отношение между солнечным колесом и сателлитом (отношение чисел зубьев большего колеса к числу зубьев меньшего); T_1 — вращающий момент на солнечном колесе, Н·м; $K_{H\beta}$ — см. табл. 3.6; K_C — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки между сателлитами (при наличии механизма выравнивания нагрузки K_C = 1,1–1,2; при отсутствии — K_C = 1,5–2,0); C — число сателлитов; ψ_{ba} — коэффициент ширины зубчатого венца сателлита, равный отношению ширины его венца b_C к межосевому расстоянию:

$$\psi_{ba} = \frac{b_C}{a_w} \tag{3.73}$$

и принятый из ряда стандартных значений: 0,1; 0,105; 0,16; 0,2; 0,25; 0,315; 0,40; 0,50; 0,63; 0,80 (желательно принимать ψ_{ba} = 0,4 для материалов колес твердостью НВ ≤ 350, ψ_{ba} = 0,315 при твердости HRC ≤ 50 и ψ_{ba} = 0,25 при твердости HRC > 50).

Затем находят делительный диаметр меньшего из колес пары солнечное колесо — сателлит. Пусть меньшее — сателлит, тогда:

$$d_C = \frac{2a_w}{u+1}. \tag{3.74}$$

Определяют модуль зубьев:

$$m = \frac{d_1}{z_1} = \frac{d_C}{z_C}. \tag{3.75}$$

Полученное значение модуля округляют до стандартного, уточняют значения делительных диаметров солнечного колеса, сателлита, корончатого колеса:

$$d_1 = mz_1;\ d_C = mz_C;\ d_K = mz_K, \tag{3.76}$$

а также межосевого расстояния:

$$a_w = \frac{d_1 + d_C}{2}. \tag{3.77}$$

Затем по известным формулам вычисляют диаметры окружностей вершин и впадин зубьев всех колес передачи.

Окружная скорость солнечного колеса, м/с:

$$v = \frac{\pi d_1 n_1}{60 \cdot 10^3}, \tag{3.78}$$

где n_1 — частота вращения солнечного колеса, об/мин.

По значению окружной скорости назначают степень точности планетарной передачи (табл. 3.15).

Таблица 3.15

Степень точности зубчатых передач

Степень точности, не ниже	Окружная скорость зуба, не более, м/с		Назначение
	прямозубая	косозубая	
6	15	30	Высокоточные передачи, механизмы точной механики, мехатроники и робототехники
7	10	15	Скоростные передачи при умеренных нагрузках, высоконагруженные передачи при высоких скоростях
8	6	10	Передачи общего назначения в машиностроении, не требующие особой точности
9	2	4	Тихоходные передачи с пониженными требованиями к точности

Для мехатронных модулей рекомендуют 6 или 7 степени точности планетарных передач.

3.2.7.7. Проверку зубьев в паре солнечное колесо — сателлит на выносливость проводят по контактным напряжениям:

$$\sigma_H = \frac{1,09 \cdot 10^4}{a_w} z_\varepsilon \sqrt{\frac{T_1 (u+1)^3}{u b_C C} K_{H\beta} K_{Hv}} \le [\sigma_H], \tag{3.79}$$

где z_ε — определяют так же, как при расчете по (3.50); K_{Hv} — см. табл. 3.10.

Условие (3.79) считается выполненным, если:

$$0,9 \le \frac{\sigma_H}{[\sigma_H]} \le 1,05. \tag{3.80}$$

При невыполнении условия следует ввести поправку путем изменения ширины венца. Новое значение ширины:

$$b'_C = b_C \left(\frac{\sigma_H}{[\sigma_H]} \right)^2. \tag{3.81}$$

Полученную ширину округляют до ближайшей по ряду *Ra*40, после чего соответственно корректируют ширину венцов сопряженных деталей.

3.2.7.8. Проверочный расчет зубьев в паре солнечное колесо — сателлит на выносливость по напряжениям изгиба производят для того колеса, чье отношение $\frac{[\sigma_F]}{Y_F}$ меньше. Здесь Y_F — коэффициент формы зуба, его берут из табл. 3.11.

Условие усталостной прочности по напряжениям изгиба:

$$\sigma_F = \frac{2000 Y_F T_1 K_{F\beta} K_{Fv}}{bmdC} \le [\sigma_F], \tag{3.82}$$

где $K_{F\beta}$, K_{Fv} — указаны в табл. 3.6, 3.12.

Условие (3.82) считается выполненным, если:

$$\frac{\sigma_F}{[\sigma_F]} \le 1,05. \tag{3.83}$$

Проверочный расчет зубьев колес планетарных передач при перегрузках аналогичен такому же расчету реечной передачи.

3.2.8. Волновые зубчатые передачи

3.2.8.1. Схема волновой передачи поясняется рис. 3.5, конструкция волнового редуктора с роликовым генератором волн показана на рис. 3.6. По своей сути волновая передача представляет собой планетарную, у которой одно из колес выполнено в виде гибкого венца.

Волновая зубчатая передача (рис. 3.5) состоит из гибкого колеса *1* с наружными зубьями, жесткого колеса *2* с внутренними зубьями и генератором волн *3*.

Наружный диаметр d_{a1} гибкого колеса в недеформированном состоянии меньше внутреннего диаметра d_{a2} жесткого колеса на величину:

$$d_{a2} - d_{a1} = 2\omega_0. \qquad (3.84)$$

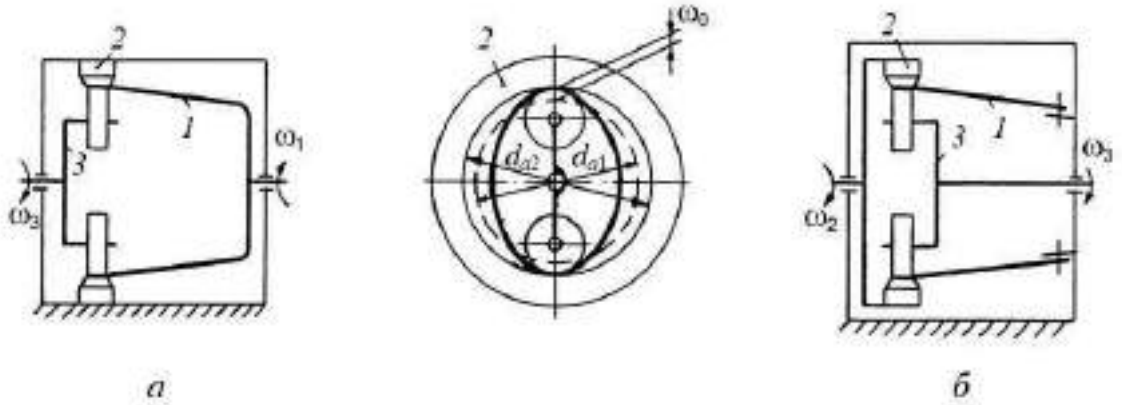


Рис. 3.6. Схема волновой зубчатой передачи:
а — ведомое гибкое колесо; *б* — ведомое жесткое колесо

3.2.8.2. Кинематический расчет волновой передачи заключается в подборе чисел зубьев гибкого и жесткого колес по принятому в соответствии с техническим заданием на ММ передаточному числу.

При неподвижном жестком зубчатом колесе *2* (рис. 3.6, *а*) передаточное число от вала генератора волн *3* к валу гибкого колеса *1* равно:

$$u_{3-1}^{(2)} = -\frac{n_3}{n_1} = -\frac{\omega_3}{\omega_1} = -\frac{z_1}{z_2 - z_1} = -\frac{z_1}{K_z \nu} = -\frac{d_1}{d_2 - d_1}. \qquad (3.85)$$

Знак минус указывает на разные направления вращения ведущего и ведомого звеньев.

Передаточное число от вала генератора волн *3* к валу жесткого колеса *2* при неподвижном гибком колесе *1* (рис. 3.6, *б*) равно:

$$u_{3-2}^{(1)} = \frac{n_Б}{n_Т} = \frac{\omega_3}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_2 - z_1} = \frac{z_2}{K_z \nu} = \frac{d_2}{d_2 - d_1}. \qquad (3.86)$$

В формулах (3.85), (3.86) $n_Б$, $n_Т$ — частоты вращения быстроходного и тихоходного валов; ω_1, ω_2, ω_3 — угловая скорость соответственно гибкого колеса, жесткого колеса и генератора волн; z_1, z_2 — число зубьев гибкого колеса и жесткого колеса; d_1, d_2 — диаметр делительной окружности гибкого колеса и жесткого колеса; ν — число волн деформации (ν = 1, 2, 3…, обычно ν = 2, реже 3); K_z — коэффициент кратности (обычно K_z = 1; при $u < 70$ K_z = 2; при $u < 45$ $K_z = 3$).

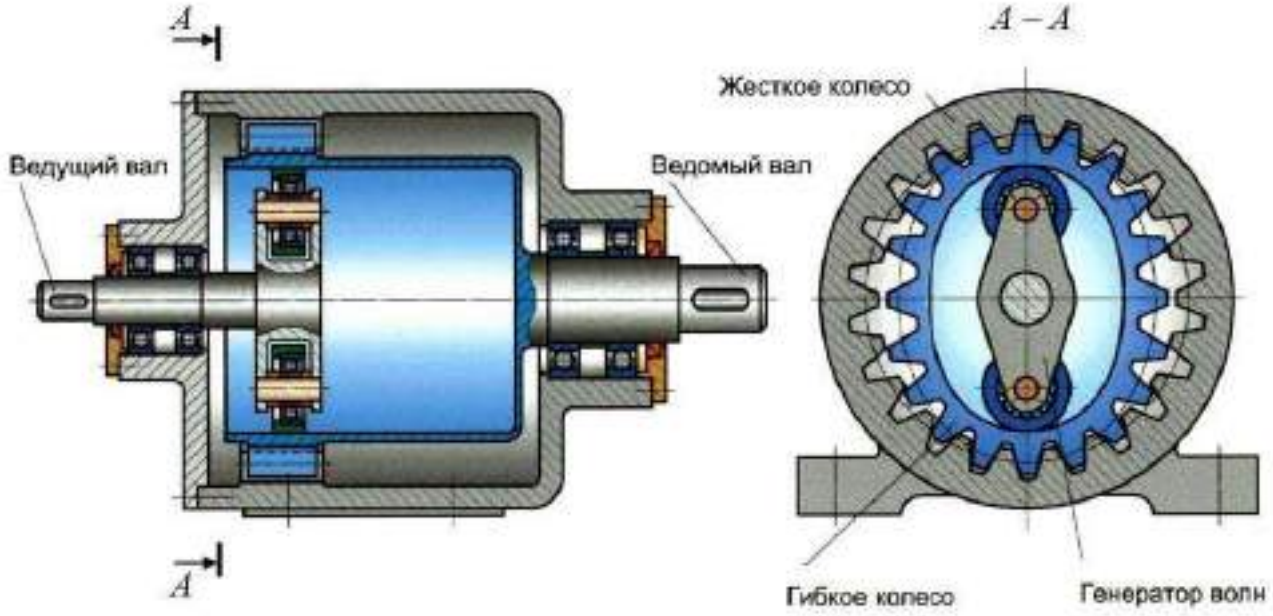


Рис. 3.7. Конструкция волнового редуктора
с роликовым генератором волн

3.2.8.3. В качестве материалов зубчатых колес (рис. 3.7), как правило, используют стали, которые после термообработки имеют твердость 220–330 *HB* (табл. 3.16). В отдельных случаях колеса изготовляют из бериллиевой бронзы БрБ2, пластмассы или композитного материала.

Таблица 3.16

Марки сталей для изготовления зубчатых колес волновых передач

Сталь	Твердость, *HB*	Предел выносливости σ_{-1}, МПа
40Х	280–300	500
40ХНМА	310–330	550
30ХГСА	300–320	530
38ХН3ВА	310–330	550
38ХМЮА	220–240	550
ШХ15	260–280	420
Х18Н10Т	220–240	350

3.2.8.4. Допускаемые напряжения смятия на боковых поверхностях зубьев определяют в виде:

$$[\sigma_{см}] = 15,7 K_u K_n K_{d1}, \text{ МПа}, \qquad (3.87)$$

где $K_u = \dfrac{u-20}{u}$ — коэффициент, зависящий от передаточного числа; $K_n = \dfrac{10}{\sqrt[3]{n_Б}}$ — коэффициент, зависящий от частоты вращения генератора волн (т.е. для понижающей передачи — от частоты быстроходного вала $n_Б$); K_{d1} — коэффициент, зависящий от делительного диаметра гибкого колеса d_1 (при $d_1 \le 130$ мм $K_{d1} = 1,25$; при $d_1 > 130$ мм $K_{d1} = 1$).

Для стальных зубчатых колес диапазон допускаемых напряжений составляет $[\sigma_{см}] = 10–20$ МПа, для пластмассовых — $[\sigma_{см}] = 3–5$ МПа.

3.2.8.5. Проектный расчет передачи состоит в определении геометрических параметров гибкого и жесткого колес из условия прочности зубьев на смятие.

Для выполнения расчета применяют упрощенные эмпирические зависимости. Они верны только для эвольвентных зубчатых колес, нарезанных стандартным инструментом с исходным контуром, имеющим угол зацепления $\alpha = 20°$, коэффициент высоты зуба $h_a^* = 1$, коэффициент радиального зазора $c^* = 0,25$ для модулей более 1 мм и $c^* = 0,35$ для модулей до 1 мм.

Исходными данными для расчета являются крутящий момент T_T, Н·м, на тихоходном валу передачи и частота вращения тихоходного вала.

Расчет начинают с определения делительного диаметра гибкого колеса d_1 из условия прочности зубьев на смятие, выраженного формулой:

$$\sigma_{см} = \frac{10^4 T_T K}{b d_1^2} \le [\sigma_{см}], \tag{3.88}$$

где T_T — в ньютонометрах; K — коэффициент режима работы передачи (при спокойной нагрузке с кратностью перегрузки $T_{max} / T \le 1{,}2$ $K = 1$; при умеренной динамической нагрузке с $T_{max} / T \le 1{,}6$ $K = 1{,}25$; при резко динамической нагрузке с $T_{max} / T \le 2{,}5$ $K = 1{,}75$); b — ширина зубчатого венца гибкого колеса, мм.

На рис. 3.8 показаны основные геометрические параметры передачи.

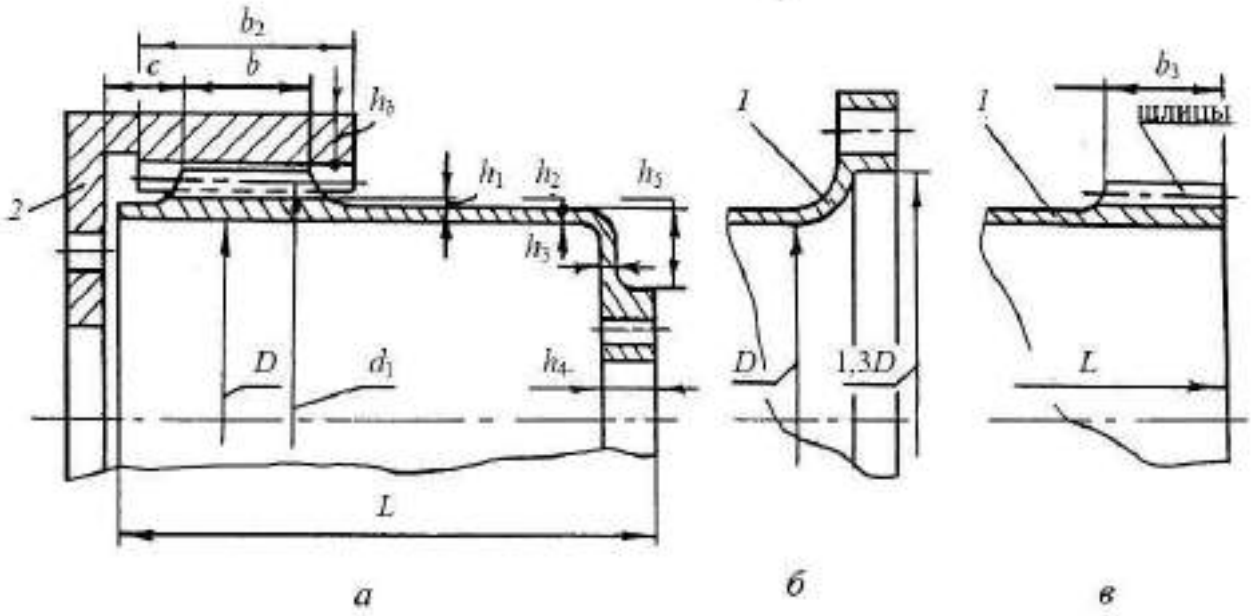


Рис. 3.8. Геометрические параметры волновой передачи:
а — типовая конструкция передачи; *б* — вариант исполнения фланца гибкого колеса; *в* — гибкое колесо со шлицами

Ширина зубчатого венца гибкого колеса равна:

$$b = \psi_{bd} d_1, \tag{3.89}$$

где ψ_{bd} — коэффициент ширины зубчатого венца (для силовых передач $\psi_{bd} = 0{,}15$–$0{,}20$; для малонагруженных кинематических передач $\psi_{bd} = 0{,}06$–$0{,}15$).

Подстановка значения ширины венца в условие прочности после преобразований дает значение делительного диаметра гибкого зубчатого колеса:

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{10T_T K}{\psi_{bd}[\sigma_{см}]}}. \qquad (3.90)$$

При кулачковом генераторе волн делительный диаметр предварительно принимают равным внутреннему диаметру D гибкого колеса, который считают приблизительно равным наружному диаметру гибкого подшипника (табл. 3.17).

Таблица 3.17

Подшипники шариковые однорядные для волновых передач по ГОСТ23179

Обозначение подшипника	Размеры, мм					Число шариков	Предельная частота вращения, об/мин
	d	*D*	*B*	*r*	$d_Ш$		
806	30	42	7	0,5	3,969	21	3 000
808	40	52	8			23	
809	45	62	9		5,953	21	
812	60	80	13		7,144	23	
815	75	100	15	1,0	9,128	21	
818	90	120	18		11,113	23	
822	110	150	24		14,288	21	1 500
824	120	160				23	
830	150	200	30		19,050		
836	180	240	35	1,5	22,225		
844	220	300	45	2,5	28,575		
848	240	320	48				1 000
860	300	400	60		36,513		
862	310	420	70				
872	360	480	72	3,5	44,450		

Обозначения: *d* — внутренний диаметр подшипника; *D* — наружный диаметр подшипника; *B* — ширина подшипника; *r* — радиус скруглений кромок колец; $d_Ш$ — диаметр шариков

Число зубьев z_1 гибкого колеса определяют в зависимости от того, какое колесо вращается. При подвижном гибком колесе:

$$z_1 = uK_z\nu, \tag{3.91}$$

при подвижном жестком колесе:

$$z_1 = (u-1)K_z\nu. \tag{3.92}$$

Модуль зубьев равен:

$$m = \frac{d_1}{z_1}. \tag{3.93}$$

После вычисления его по (3.93) необходимо принять ближайшее стандартное значение, причем возможно использование модулей, мм: 0,2; 0,22; 0,28; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45.

Уточняют делительный диаметр гибкого колеса при дисковом генераторе волн:

$$d_1 = mz_1. \tag{3.94}$$

Находят передаточное число передачи в зависимости от того, какое колесо вращается. При подвижном гибком колесе:

$$u' = \frac{z_1}{K_z\nu}, \tag{3.95}$$

при подвижном жестком колесе:

$$u' = \frac{z_1}{K_z\nu} + 1. \tag{3.96}$$

Вычисляют отклонение передаточного числа от требуемого, %:

$$\Delta u = \frac{100|u - u'|}{u} \le [u], \tag{3.97}$$

где $[\Delta u]$ — допускаемое отклонение, %, передаточного числа от требуемого в соответствии с техническим заданием на ММ.

При невыполнении условия (3.97) необходимо изменить z_1 так, чтобы условие было выполнено, и затем скорректировать значение делительного диаметра гибкого зубчатого колеса.

Число зубьев жесткого колеса:

$$z_2 = z_1 + K_z \nu. \tag{3.98}$$

Толщина зубчатого венца стального гибкого колеса:

$$h_1 = (70 + 0,5u) m z_1 \cdot 10^{-4}, \text{ мм}. \tag{3.99}$$

Толщина оболочки гибкого колеса $h_2 = (0,5...0,8) h_1$.

Относительный боковой зазор между зубьями ненагруженной передачи:

$$\overline{j}_{\max} = \frac{j_{\max}}{m} = \frac{T_{\max} b}{d_1^2 h_2 G m} + 4 \cdot 10^{-4} (u - 60), \tag{3.100}$$

где $j_{\max}$ — необходимый боковой зазор между зубьями ненагруженной передачи, мм; G — модуль упругости второго рода для материала гибкого колеса (для стали $G = 8,1 \cdot 10^4$ МПа).

Относительное радиальное упругое деформирование гибкого колеса:

$$w_0^* = \frac{w_0}{m} = 0,89 + 8 \cdot 10^{-4} z_1 + 2 j_{\max}, \tag{3.101}$$

где w_0 — радиальное упругое деформирование гибкого колеса, мм.

Коэффициент смещения исходного контура зубьев гибкого колеса:

$$x_1 = \frac{1,35 - w_0}{0,85\sqrt[3]{z_1} - 0,04}. \quad (3.102)$$

Коэффициент смещения исходного контура зубьев жесткого колеса:

$$x_2 = x_1 + w_0^* - 1. \quad (3.103)$$

Относительная глубина захода зубьев:

$$h_d^* = \frac{h_d}{m} = 4w_0^* - (4,6 - 4w_0^*) \cdot 10^{-3} z_1 - 2,48, \quad (3.104)$$

где h_d — глубина захода зубьев, мм.

Диаметр окружности впадин зубьев гибкого колеса:

$$d_{f1} = m(z_1 - 2h_d^* - 2c^* + 2x_1). \quad (3.105)$$

Диаметр окружности вершин зубьев гибкого колеса:

$$d_{a1} = d_{f1} + 2m(h_d^* + c^*). \quad (3.106)$$

Диаметр окружности вершин зубьев жесткого колеса:

$$d_{a2} = d_{a1} - 2m(h_d^* - w_0^*). \quad (3.107)$$

Диаметр окружности впадин зубьев жесткого колеса:

$$d_{f2} = d_{a1} + 2m(0,15 + w_0^*). \quad (3.108)$$

Для гибкого колеса передачи с кулачковым генератором волн уточняют значение толщины венца по формуле:

$$h_1 = 0,5(d_{f1} - D). \quad (3.109)$$

Длина гибкого колеса с дном (см. рис. 3.8, *а*) $L = 0{,}8D$, со шлицами (рис. 3.8, *в*) $L = 0{,}7D$.

Параметры остальных частей гибкого колеса: $h_3 = (0{,}7–1)h_2$; $h_4 = 2h_1$; $h_5 \geq 0{,}16D$; $c = 0{,}2b$.

Ширина зубчатого венца жесткого колеса:

$$b_2 = b + 0{,}6\sqrt{b}. \qquad (3.110)$$

Длина шлицев $b_3 = 0{,}5b$.

Определяют основные геометрические параметры генератора волн.

Геометрию кулачкового генератора (рис. 3.9) определяет радиус-вектор ρ поперечного сечения.

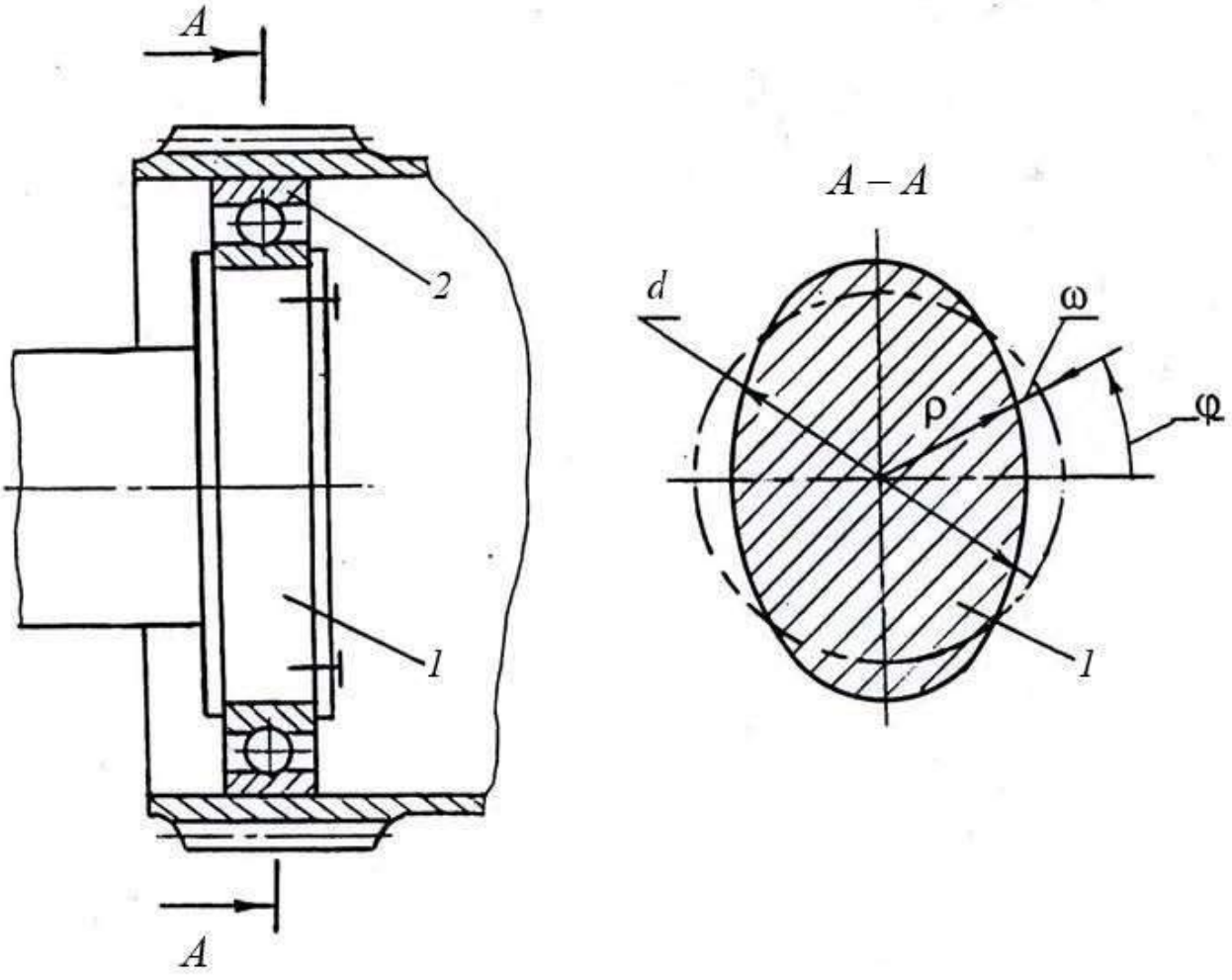


Рис. 3.9. Кулачковый генератор волн:
1 — кулачок; *2* — гибкий подшипник

Радиус-вектор кулачка в каждой четверти:

$$\rho = 0,5d_{\text{П}} + WmK_{\alpha}, \tag{3.111}$$

где $d_{\text{П}}$ — внутренний диаметр гибкого подшипника; W — коэффициент радиальной деформации (табл. 3.18); K_{α} — коэффициент, зависящий от угла зацепления α ($K_{\alpha} = 1$ для $\alpha = 20°$; $K_{\alpha} = 0,89$ для $\alpha = 30°$).

Таблица 3.18

Значения коэффициента *W*

Угол φ	0	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
W	–1,25	–1,13	–0,91	–0,56	–0,15	0,26	0,57	0,76	0,87	0,9

Срок службы стандартных гибких подшипников составляет 10 000 ч, допускаются кратковременные двукратные перегрузки.

Эксцентриситет дискового генератора волн (рис. 3.10):

$$e = 3,4w_0^* m. \tag{3.112}$$

Диаметр дисков:

$$D_{\partial} = D + 2w_1 - 2e, \tag{3.113}$$

где w_1 — максимальная упругая деформация гибкого колеса с учетом податливости генератора волн и жесткого колеса, а также отклонений размеров от номинальных при изготовлении.

Значение w_1 определяют по формуле:

$$w_1 = w_0^* m(0,97 + 0,025\sqrt{\sigma_{\text{см}}}), \text{ мм}. \tag{3.114}$$

3.2.8.6. Проверочные расчеты начинаются с проверки гибкого колеса на выносливость.

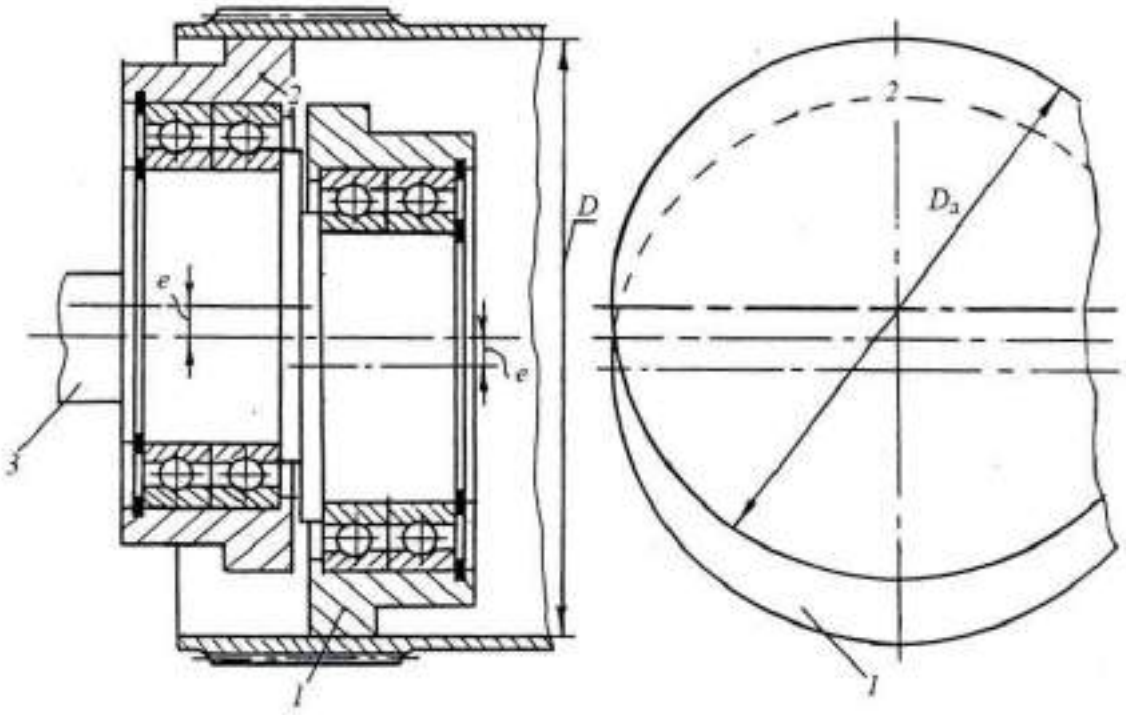


Рис. 3.10. Дисковый генератор волн:
1, 2 — диски; *3* — эксцентриковый вал

Определяют запас усталостной прочности гибкого колеса по формуле:

$$s = \frac{0,28\sigma_{-1}\mu d_1}{K_d K_\sigma w_0^* E h_1 \sqrt{1+0,15\left(\frac{d_1}{L}+\frac{T_1 u}{w_0^* d_1 E h_1^2}\right)^2}}, \qquad (3.115)$$

где E — модуль упругости первого рода материала гибкого колеса (для стали $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа); σ_{-1} — предел выносливости материала гибкого колеса (см. табл. 3.16); K_d — коэффициент увеличения напряжения от сил в зацеплении; K_σ — эффективный коэффициент концентрации напряжений у основания зуба.

Условие обеспечения необходимой выносливости гибкого колеса:

$$s \geq [s], \qquad (3.116)$$

где $[s] = 1,2$ — минимальный допускаемый запас усталостной прочности.

Величину коэффициента K_d определяют по формуле:

$$K_d = 1 + 2,2 \cdot 10^{-8} \frac{T_1}{d_1 h_1^2}, \qquad (3.117)$$

а коэффициента K_σ — по формуле:

$$K_\sigma = 1 + 0{,}05 \frac{\sqrt{\frac{(h_a^* + c^*)md}{R_{\min} h_1}}(R_{\min} + 0{,}01)}{R_{\min} + 0{,}02}, \qquad (3.118)$$

где $R_{\min}$ — минимальный радиус переходной поверхности:

$$R_{\min} = \frac{m(h_a^* + c^* - x_1 - \rho^*)}{h_a^* + c^* - x_1 - \rho^* + 0{,}5 z_1} + m\rho^*. \qquad (3.119)$$

Значения входящих в (3.119) величин: $c^* = 0{,}25$ и $\rho^* = 0{,}4$ при $m > 1$ мм; $c^* = 0{,}35$ и $\rho^* = 0{,}4$ при $m = 1$–$0{,}5$ мм; $c^* = 0{,}5$ и $\rho^* = 0{,}33$ при $m < 0{,}5$ мм.

Вероятность P неразрушения гибкого зубчатого колеса в зависимости от коэффициента запаса усталостной прочности приведена в табл. 3.19.

Таблица 3.19

Вероятность *P* неразрушения гибкого зубчатого колеса и коэффициент K_L вероятности неразрушения гибкого подшипника

s	1,8	1,7	1,6	1,55	1,5	1,45	1,4	1,3	1,2
P, %	99,8	99,6	99	98,5	97,8	96,7	95,1	90	87
K_L	0,5	0,6	0,66	0,69	0,73	0,8	0,9	1	

Уточняют КПД передачи. Потери в волновой передаче складываются из потерь в зацеплении и потерь при вращении генератора волн. Сопротивлением подшипников быстроходного и тихоходного валов пренебрегают. В этом случае КПД равен:

$$\eta = \frac{1}{1 + 1{,}11 \frac{\nu f_1}{\cos^2 \alpha} + 0{,}3 f_2 \operatorname{tg}(\alpha + \rho')}, \qquad (3.120)$$

где f_1 = 0,03–0,05 — коэффициент, учитывающий трение в зубчатом зацеплении; f_2 = 0,0015–0,003 — условный коэффициент, учитывающий трение во всех элементах генератора волн; $\rho' = \operatorname{arctg} f_1$ — приведенный угол трения.

После уточнения КПД выполняют *тепловой расчет* передачи. В процессе работы редуктор нагревается. Температуру масла и внутренней поверхности корпуса редуктора определяют по формуле:

$$t_м = \frac{P_Б K_t (1-\eta)}{K_T A} + 20,\ °C, \qquad (3.121)$$

где $P_Б$ — мощность на быстроходном валу, Вт; $K_t = t_р / t_ц$ — коэффициент продолжительности работы редуктора ($t_р$ — время работы редуктора в течение цикла; $t_ц$ — длительность цикла); K_T — коэффициент теплоотдачи (при естественном охлаждении K_T = 8–15 Вт/(м^2·°С); при охлаждении с помощью вентилятора K_T = 18–24 Вт/(м^2·°С)); $A = (8–10)d_1^2$ — поверхность охлаждения редуктора, м^2.

Затем проверяют выполнение условия:

$$t_м \geq [t_м], \qquad (3.122)$$

где $[t_м]$ — допускаемая температура ($[t_м]$ = 85–90 °С — для минеральных масел по ГОСТ 20799; $[t_м]$ = 100–120 °С — для авиационных масел.

3.2.9. Передачи винт-гайка скольжения

3.2.9.1. Исходные данные:

– номинальная нагрузка на гайке F_a, Н;

– номинальная скорость гайки v, м/с;

– максимальное рабочее перемещение гайки s, мм;

– срок службы (долговечность) передачи;

– прочие (массогабаритные показатели, способ крепления, конфигурация корпуса и т.д.).

Для определенности принято, что ВГС осуществляет преобразование вращательного движения в поступательное, ведущим звеном является винт.

3.2.9.2. Кинематический расчет ВГС не может быть выполнен без конкретного значения диаметра вала. Поэтому следует определить расчетный средний диаметр резьбы вала по критерию износостойкости, используя формулу:

$$d_2 \geq K_{\text{Р}} \sqrt{\frac{F_a}{\gamma [q]}}, \qquad (3.123)$$

где $K_{\text{Р}} = \sqrt{\frac{p}{\pi h}}$ — коэффициент, зависящий от типа резьбы (для трапецеидальной и прямоугольной резьб $K_{\text{р}}$= 0,8; для упорной резьбы $K_{\text{Р}}$ = 0,65); h — высота резьбового выступа; p — шаг резьбы; γ = 1,2–3,5 — коэффициент высоты гайки; $[q]$ — допускаемое давление между рабочими поверхностями резьбы винта и гайки (в паре сталь — чугун $[q]$ = 5–6 МПа; в паре сталь — бронза $[q]$ = 9–11 МПа).

Затем по стандартам на резьбы и расчетному значению среднего диаметра подбирают резьбу, у которой d_2 равен или больше расчетного, и далее наружный d и внутренний d_1 диаметры. В табл. 3.20 приведена выдержка из стандарта на трапецеидальную резьбу [16].

Таблица 3.20

Параметры трапецеидальной резьбы, мм

p	d_2	d_1	d	p	d_2	d_1	d	p	d_2	d_1	d
2	7	6	8	3	8,5	7	10	4	14	12	16
	9	8	10		10,5	9	12		16	14	18
	11	10	12		12,5	11	14		18	16	20
	13	11	14		28,5	27	30		63	61	65
	15	14	16		30,5	29	32		68	66	70
	17	16	18		32,5	31	34		73	71	75
p	d_2	d_1	d	p	d_2	d_1	d	p	d_2	d_1	d
5	19,5	17	22	6	27	24	30	8	20	16	24
	21,5	19	24		29	26	32		24	20	28
	23,5	21	26		31	28	34		40	36	44
	25,5	23	28		33	30	36		44	40	48
	82,5	80	85		35	32	38		48	44	52
	87,5	85	90		37	34	40		56	52	60

Определяют необходимую угловую скорость винта:

$$\omega = \frac{2000\pi v}{pK}, \tag{3.124}$$

где K — число заходов резьбы; обычно ВГС выполняют однозаходными, и $K = 1$, но при необходимости в преобразователях движения ММ могут применяться и многозаходные резьбы.

В заключение кинематического расчета вычисляют угол подъема винтовой линии:

$$\psi = \operatorname{arctg}\frac{pK}{\pi d_2}. \tag{3.125}$$

3.2.9.2. Характерной особенностью передачи ВГС является то, что ее кинематический расчет включает в себя значительную часть проектировочного расчета. Кроме уже полученных параметров резьбы, находят крутящий момент на винте:

$$T = F_a d_2 \frac{\operatorname{tg}(\psi + \rho')}{2}, \tag{3.126}$$

где ρ' — приведенный угол трения в резьбе:

$$\rho' = \operatorname{arctg}\frac{f}{\cos\frac{\alpha}{2}}; \tag{3.127}$$

f — коэффициент трения скольжения в резьбе (в зависимости от материала гайки $f = 0{,}1$–$0{,}2$); α — угол профиля резьбы (для трапецеидальной резьбы $\alpha = 30^\circ$, для упорной — $\alpha/2 = 3^\circ$, для прямоугольной — $\alpha = 0$).

В том случае, если $\psi < \rho'$, передача является самотормозящейся.

Дополнительно вычисляют КПД винтовой пары:

$$\eta_{вп} = \frac{\operatorname{tg}\psi}{\operatorname{tg}(\psi + \rho')}. \tag{3.128}$$

Практически КПД ВГС лежит в пределах $\eta_{вп} = 0{,}25$–$0{,}5$.

Высоту гайки определяют по формуле:

$$H = \gamma d_2, \tag{3.129}$$

с округлением полученного значения по ГОСТ 6636-69.

Число витков резьбы в гайке:

$$z = \frac{H}{p}. \tag{3.130}$$

Наружный диаметр D гайки принимают в зависимости от ее материала: $D \approx 1{,}5d$ — для чугунной; $D \approx 1{,}3d$ — для бронзовой.

Диаметр и высота упорного бурта гайки равны: $D_1 = 1{,}3D$; $a = (0{,}2\text{–}0{,}3)D$.

3.2.9.3. Проверочные расчеты содержат проверку винта и конструктивных элементов гайки.

Условие прочности винта:

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \le [\sigma], \tag{3.131}$$

где $\sigma_{экв}$ — эквивалентное напряжение в опасном сечении винта; σ — нормальное напряжение:

$$\sigma = \frac{4F_a}{\pi d_1^2}; \tag{3.132}$$

τ — касательное напряжение:

$$\tau = \frac{16T}{\pi d_1^3}; \tag{3.133}$$

$[\sigma]$ — допускаемое нормальное напряжение для материала винта.

Проверку винта на устойчивость производят в том случае, если рабочая нагрузка — сжимающая. Определяют радиус инерции поперечного сечения винта, который для круглого сечения равен $i = 0{,}25d_1$, затем по (3.59)

находят значение гибкости λ, а по табл. 3.14 — коэффициент φ. Вычисляют допускаемые по условию устойчивости нормальное напряжение и силу сжатия:

$$[\sigma_y] = \varphi[\sigma], \tag{3.134}$$

$$[F_a] = \frac{\pi d_1^2 [\sigma_y]}{4}. \tag{3.135}$$

Устойчивость винта обеспечивается, если $F_a \le [F_a]$.

Кроме того, винты, у которых $\lambda \ge 100$, проверяют *по критической частоте вращения*. Критическая частота вращения, об/мин, — меньшая из полученных по формулам:

$$n_{кр} = 5 \cdot 10^7 \frac{\nu d_1 k}{l^2}; \tag{3.136}$$

$$n_{кр} = \frac{8 \cdot 10^4}{d_1}, \tag{3.137}$$

где ν — коэффициент, зависящий от способа закрепления винта (см. табл. 3.13).

Винт проходит по этому условию, если частота вращения винта не больше критической, т.е.:

$$n = \frac{30\omega}{\pi} \le n_{кр}, \text{ об/мин.} \tag{3.138}$$

Витки резьбы гайки проверяют на изгиб:

$$\sigma_и = \frac{K_и F_a}{dH} \le [\sigma_и], \tag{3.139}$$

где $K_и$ — коэффициент типа резьбы (для трапецеидальной резьбы $K_и = 1{,}3$; для упорной — $K_и = 1{,}5$; для прямоугольной — $K_и = 1{,}9$); $[\sigma_и]$ — допускаемое напряжение изгиба (для чугунных гаек $[\sigma_и] = 25$ МПа; для бронзовых — $[\sigma_и] = 40$ МПа).

Тело гайки проверяют по нормальным напряжениям:

$$\sigma_г = \frac{5,2F_a}{\pi(D^2 - d^2)} \le [\sigma_г], \qquad (3.140)$$

где $[\sigma_г]$ — допускаемое нормальное напряжение для материала гайки; для чугунных гаек $[\sigma_г] = 20$ МПа; для бронзовых — $[\sigma_г] = 40$ МПа.

Бурт гайки проверяют на изгиб и смятие:

$$\sigma_и = \frac{3F_a(D_1 - D)}{\pi D a^2} \le [\sigma_и]; \qquad (3.141)$$

$$\sigma_{см} = \frac{4F_a}{\pi(D_1^2 - D^2)} \le [\sigma_{см}], \qquad (3.142)$$

где $[\sigma_{см}] = 60$ МПа — допускаемое напряжение смятия.

3.2.10. Шарико-винтовые передачи

3.2.10.1. Исходные данные:

– номинальная нагрузка на гайке F_a, Н;

– номинальная скорость гайки v, м/с;

– максимальное рабочее перемещение гайки s, мм;

– нагрузочная диаграмма (циклограмма);

– срок службы (долговечность) передачи;

– прочие (массогабаритные показатели, способ крепления, конфигурация корпуса и т.д.).

Для определенности принято, что ШВП осуществляет преобразование вращательного движения в поступательное, ведущим звеном является винт. Внешний вид ШВП показан на рис. 3.11.

В настоящее время ряд фирм как российских, так и зарубежных освоили серийный выпуск ШВП, поэтому проектирование преобразователя можно свести к подбору имеющегося в продаже типоразмера. В табл. 3.21 приведены данные по ШВП компании *HIWIN Lineartechnoloqie*.



Рис. 3.11. Шарико-винтовая передача

Таблица 3.21

Параметры ШВП *HIWIN Lineartechnoloqie* (резьба накатанная)

Обозначение	*d*, мм	d_3, мм	*p*, мм	C_a, кН	C_{0a}, кН	Осевой зазор, мм
R16-05T3-FSIDIN	16	12,8	5	7,32	12,47	0,04
R16-10T4-FSIDIN			10	6,23	11,00	
R20-05T3-FSIDIN	20	16,9	5	11,56	24,00	
R20-10K3-FSCDIN		17,3	10	10,0	23,5	
R20-20K2-FSCDIN		17,0	20	6,8	15,3	
R25-05T4-FSIDIN	25	22,3	5	12,40	32,96	
R25-10T3-FSIDIN		21,2	10	16,5	32,7	
R25-25K2-FSCDIN		22,9	25	7,5	19,3	
R32-05T6-FSIDIN	32	29,1	5	20,56	64,70	
R32-10T4-FSIDIN		27,7	10	38,5	65,0	
R32-20K3-FSCDIN		28,7	20	17,0	48,5	
R32-32K2-FSCDIN			32	11,6	31,8	
R40-05T6-FSIDIN	40	36,7	5	23,36	80,30	
R40-10K4-FSCDIN		32,9	10	45,0	123,0	

Обозначение	d, мм	d_3, мм	p, мм	C_a, кН	C_{0a}, кН	Осевой зазор, мм
*R*40-20*K*3-*FSCDIN*			20	34,85	90,00	0,07
*R*40-40*K*2-*FSCDIN*			40	23,0	58,4	
*R*50-05*T*6-*FSIDIN*	50	46,8	5	25,32	104,20	
*R*50-10*K*6-*FSCDIN*		44,9	10	74,5	250,0	
*R*50-20*K*5-*FSCDIN*		45,5	20	62,0	208,0	
*R*50-40*K*3-*FSCDIN*		45,0	40	39,0	123,0	
Обозначения: C_a — динамическая грузоподъемность; C_{a0} — статическая грузоподъемность						

3.2.10.2. Начало проектировочного расчета состоит в ориентировочном определении внутреннего диаметра резьбы винта d_3 из условия прочности (3.131). Для этого необходимо оценить величину крутящего момента T, что, в свою очередь, требует знания угла подъема ψ_0 винтовой линии на номинальном диаметре d_0. Удобно воспользоваться следующими соотношениями, используемыми при выполнении ШВП:

$$\begin{aligned} D_w &= 0,6p; \\ d_3 &= \frac{D_w}{K_ш}; \\ d_3 &= d_0 - 1,012D_w, \end{aligned} \qquad (3.143)$$

где D_w — диаметр шарика; p — шаг резьбы (аналогично ВГС); $K_ш$ = 0,1–0,35 — коэффициент диаметра шариков.

Из выражений (3.143) следует, что:

$$d_0 \approx 0,607p\left(\frac{1}{K_ш}+1\right), \qquad (3.144)$$

формула угла подъема винтовой линии (3.125) в результате подстановки уравнения (3.144) принимает вид:

$$\psi_0 = \operatorname{arctg}\frac{1,65K}{\pi\left(\frac{1}{K_ш}+1\right)}. \qquad (3.145)$$

Для K = 1 диапазон углов подъема ψ_0 = 2,73°–7,75°; для K = 2 – ψ_0 = = 5,45°–15,23°.

Вращающий момент на винте при отсутствии натяга, Н·мм:

$$T = F_a \frac{d_0}{2} \cdot \mathrm{tg}\left(\psi_0 + \rho_к\right), \tag{3.146}$$

где $\rho_к$ — приведенный угол трения качения, определяемый по формуле:

$$\rho_к = \mathrm{arctg} \frac{2 f_к}{D_w \sin\beta}, \tag{3.147}$$

в которой $f_к$ = 0,007–0,01 мм — приведенный коэффициент трения качения; β — угол контакта шарика со стенками канавок, при расчете принимают β = 45°.

Пусть ψ_0 = 15,338° и $\rho_к << \psi_0$. Тогда:

$$T \approx F_a \frac{d_0}{2} \mathrm{tg}15{,}23° = 0{,}136 F_a d_0, \tag{3.148}$$

а нормальное σ и касательное τ напряжения в опасном сечении винта:

$$\sigma = \frac{4F_a}{\pi d_3^2}; \tag{3.149}$$

$$\tau = \frac{16 \cdot 0{,}136 F_a d_0}{\pi d_1^3} = \frac{2{,}18 F_a d_0}{\pi d_3^3}. \tag{3.150}$$

Из соотношений (3.143) и (3.144) следует, что для ШВП с $K_ш$ = 0,35:

$$\begin{aligned} d_3 &= 1{,}71p; \\ d_0 &= 2{,}32p, \end{aligned} \tag{3.151}$$

следовательно, $\frac{d_0}{d_3} = 1{,}35$, и:

$$\tau = \frac{2{,}94 F_a}{\pi d_3^2}. \tag{3.152}$$

Подстановка соотношений (3.149) и (3.152) в условие (3.131) после преобразований позволяет получить нижнюю границу диаметра d_3, мм:

$$d_3 \geq \sqrt{\frac{6,48F_a}{\pi[\sigma]}} = 1,44\sqrt{\frac{F_a}{[\sigma]}}. \qquad (3.153)$$

При определении [σ] винта можно ориентировочно принять предел текучести стали $\sigma_т$ = 800 МПа, запас прочности $n_т$ = 1,5–2,5.

Затем следует по каталогу принять типоразмер ШВП с внутренним диаметром резьбы винта не меньшим, чем полученный по формуле (3.153).

Следующим шагом полезно определить гибкость винта, нагруженного сжимающей силой, по выражению (3.59), в котором $i = 0,25d_3$. При $\lambda > 50$ необходимо выполнить проверку винта на продольную устойчивость. В случае, если винт на устойчивость не проходит, нужно определить значение d_3, удовлетворяющее данному критерию, и принять по каталогу соответствующий типоразмер ШВП.

Результатом проектировочного расчета является конкретная ШВП с шагом p и величинами статической и динамической грузоподъемностей (см. табл. 3.21).

3.2.10.3. Кинематический расчет ШВП состоит в определении необходимой угловой скорости винта по формуле (3.124).

3.2.10.4. Проверку винта на прочность и продольную устойчивость выполнять не нужно, так как внутренний диаметр винта выбран по критерию прочности с проверкой на устойчивость.

ШВП, в которой частота вращения винта $n_1 < 10$ об/мин, должна быть проверена на статическую грузоподъемность по условию:

$$F_{a\max} \leq C_{0a}, \qquad (3.154)$$

где $F_{a\max}$ — максимальная статическая нагрузка; C_{0a} — статическая грузоподъемность, Н.

Проверку ШВП на долговечность производят в том случае, если $n_1 \geq 10$ об/мин, следующим образом.

Определяют эквивалентную динамическую нагрузку:

$$F_{a\Э} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^{m} F_{ai}^3 \cdot n_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^{m} n_i \cdot t_i}}, \qquad (3.155)$$

где F_{ai} — нагрузка на i-м участке нагрузочной диаграммы; n_i — частота вращения винта на i-м участке, об/мин; t_i — продолжительность действия нагрузки, с; m — число участков нагрузочной диаграммы.

Затем находят эквивалентную частоту вращения винта по формуле:

$$n_\Э = \frac{\sum_{i=1}^{m} n_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^{m} t_i}. \qquad (3.156)$$

Определяют требуемую динамическую грузоподъемность ШВП:

$$C_{a\text{тр}} = 0,039 F_\Э \sqrt[3]{L_h n_\Э}, \qquad (3.157)$$

где L_h — заданный ресурс работы передачи, ч.

Условие обеспечения заданной техническими требованиями на ММ долговечности:

$$C_{a\text{тр}} \le C_a. \qquad (3.158)$$

Для уточнения вращающего момента на винте следует определить D_w, пользуясь значением шага p принятой ШВП и соотношением (3.143), затем вычислить $\rho_к$ по формуле (3.147) и фактическую величину момента по формуле (3.146). Как правило, превышение фактического вращающего момента над найденным без учета сопротивления качению шариков незначительно влияет на прочность вала и не требует проверки на прочность.

КПД передачи равен:

$$\eta = \frac{\mathrm{tg}\psi_0}{\mathrm{tg}(\psi_0 + \rho_\kappa)}. \qquad (3.159)$$

В ШВП $\rho_\kappa << \psi$, поэтому КПД даже при малых углах подъема винтовой линии достигает 80–90 %.

Проверка винта на устойчивость и критическую частоту вращения выполняется так же, как в п. 3.2.9.

3.2.11. Ролико-винтовые передачи

3.2.11.1. По назначению, области применения и принципу действия РВП и ШВП родственны, поэтому исходные данные и метод проектировочного расчета те же, что и в п. 3.2.10.

3.2.11.2. Выше была отмечена более высокая нагрузочная способность РВП по сравнению с ШВП. На рис. 3.12 показано, чем именно обусловлено данное преимущество РВП. Зоны контакта звеньев показаны красным цветом. Видно, что число контактирующих резьбовых выступов ролика и гайки РВП значительно больше, чем шариков с резьбовыми выступами винта. РВП при равной нагрузочной способности более компактная по сравнению с ШВП.

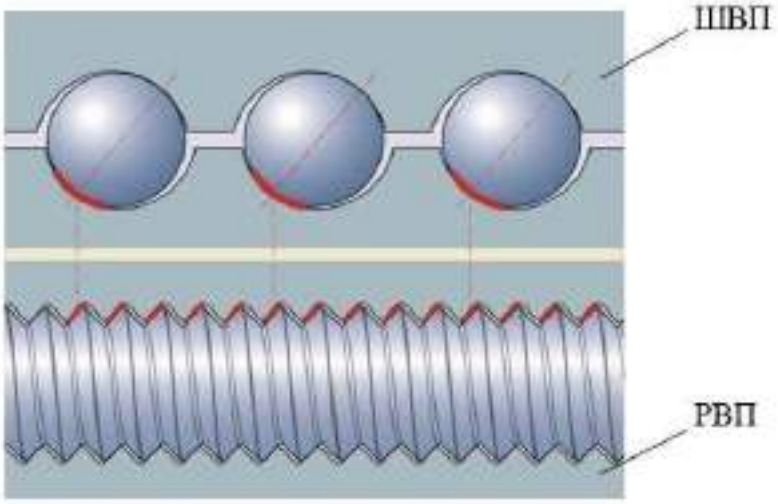
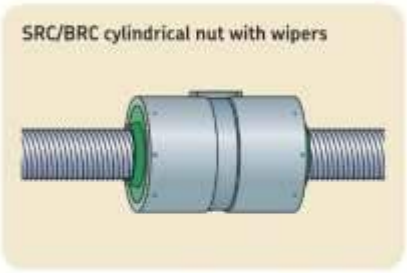
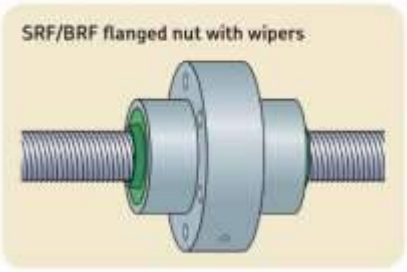


Рис. 3.12. Зоны контакта звеньев в ШВП и РВП

Так же, как и в расчете ШВП, при проектировании РВП рекомендуется ориентироваться на выпускаемые серийно типоразмеры.

На рис. 3.13 приведен фрагмент каталога РВП шведской фирмы *SKF Solution Factory*. Обозначения: *SRS/BRC* — исполнение с креплением гайки шпонкой; *SRF/BRF* — исполнение с фланцевым креплением гайки; d_0 — номинальный (средний) диаметр резьбы винта, мм; P_h — шаг резьбы, мм; L_{tp} — максимальное допустимое перемещение гайки, мм.





Nominal diameter	Lead (right hand)	Basic load rating SRC/BRC nut		SRF/BRF nut		Maximum total shaft length
d_0	P_h	C_a	C_{0a}	C_a	C_{0a}	L_{tp}
mm		kN				mm
15	5	26	43,6			975
21	5	50,6	82			1 400
21	10	59,2	83			1 400
30	5	92	178			2 000
30	10	106	174			2 000
39	5	129	269	129	269	2 650
39	10	153	271	153	271	2 650
48	5	198	482	198	482	3 300
48	10	232	475	232	475	3 300

Рис. 3.13. Фрагмент каталога РВП *SKF Solution Factory*

Сравним нагрузочную способность ШВП (табл. 3.21) и РВП с примерно равными диаметрами винта. ШВП с параметрами d = 32 мм, p = 10 мм: C_a = 38,5 кН; C_{0a} = 65 кН. РВП с параметрами d_0 = 30 мм, P_h = 10 мм: C_a = 106 кН; C_{0a} = 174 кН. Таким образом, динамическая грузоподъемность РВП в 2,75, а статическая — в 2,68 раза выше, чем ШВП.

Фирмой выпускается ряд МД поступательного перемещения на основе РВП, например так называемые *механические цилиндры* (рис. 3.14).

3.2.11.3. Для нахождения величины вращающего момента на винте в проектном расчете внутреннего диаметра резьбы винта d_2 по условию прочности фирма *SKF Solution Factory* рекомендует использовать формулу:

$$T = \frac{F_a P_h}{2000\pi\eta},\ \text{Н·м}, \qquad (3.160)$$

где η — КПД передачи, зависящий от угла подъема витка резьбы. С достаточной степенью достоверности можно принять η = 0,9. Значение P_h в выражение (3.160) подставляют в миллиметрах.

Последующие действия выполняют так же, как описано в п. 3.2.10.



а *б*

Рис. 3.14. МД поступательного перемещения *SKF*:
а — двигатель расположен соосно винту; *б* — МД уменьшенной длины

3.3. ЛЮФТОВЫБИРАЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ

3.3.1. Выборка мертвого хода в зубчатых преобразователях движения

В тех случаях, когда мертвый ход преобразователя движения больше допускаемой техническими требованиями величины, в конструкцию передачи вводят специальное устройство, называемое *люфтовыбирающим механизмом*.

В ММ используют механизмы выборки бокового зазора между зубьями колес зубчатых передач двух типов: автономные и с дополнительной кинематической цепью (замкнутым энергетическим потоком).

В *автономных механизмах выборки мертвого хода* используют метод раздвоения ведомого колеса, который в качестве силовых элементов предполагает использование пружин.

На рис. 3.15 приведена конструктивная схема такого механизма. Основная половина *1* раздвоенного зубчатого колеса закреплена на валу, а вторая половина *2* образует со втулкой основной половины подвижное соединение, и ее фиксируют от осевого смещения шайбой *3*. Под влиянием пружины *4*, закрепленной одним концом на половине *1* колеса, а другим — на половине *2*, половины колес поворачиваются относительно друг друга в разные стороны и выбирают боковой зазор между зубьями ведущего и ведомого колес. Пружину *4*

устанавливают во время сборки механизма с предварительным натяжением, достаточным для выборки мертвого хода в данной зубчатой паре и передачи крутящего момента при реверсе.

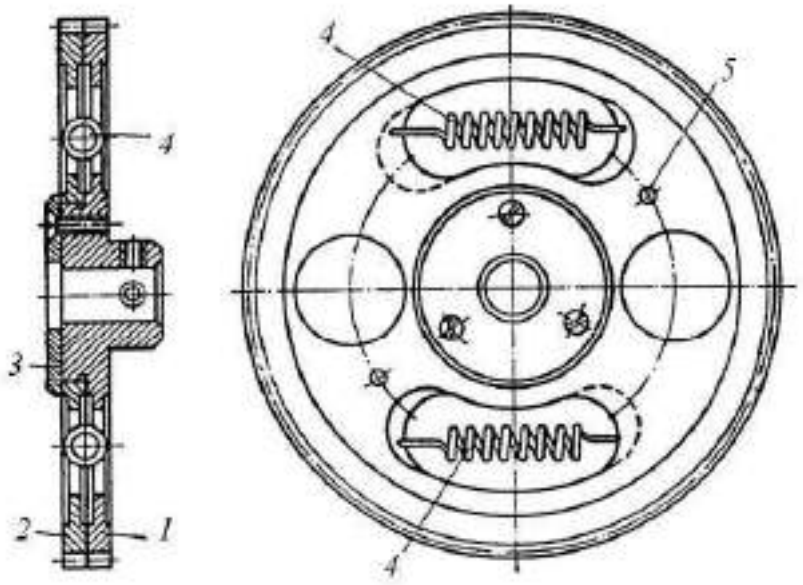


Рис. 3.15. Автономный механизм для выборки люфта в зубчатой передаче

Нарезание зубьев на половинках *1* и *2* раздвоенного колеса производят одновременно, зафиксировав их между собой шайбой *3* и двумя цилиндрическими штифтами *5*, которые после нарезания зубьев удаляют.

Сила $F_{пр}$ пружины *4* (рис. 3.16) может быть найдена из условия:

$$Fr = \frac{F_{пр} r_{пр}}{\beta} n, \qquad (3.161)$$

где $F = T/r$ — окружная сила, действующая на зубья одной из половинок колеса; T — момент сопротивления на раздвоенном колесе; r — радиус делительной окружности раздвоенного зубчатого колеса; $r_{пр}$ — радиус окружности, на которой установлены пружины; $\beta = 1{,}25–1{,}5$ — коэффициент силы запаса пружины; n — число пружин.

Из выражения (3.161):

$$F_{пр} = \frac{\beta Fr}{r_{пр} n} = \frac{\beta T}{r_{пр} n}. \qquad (3.162)$$

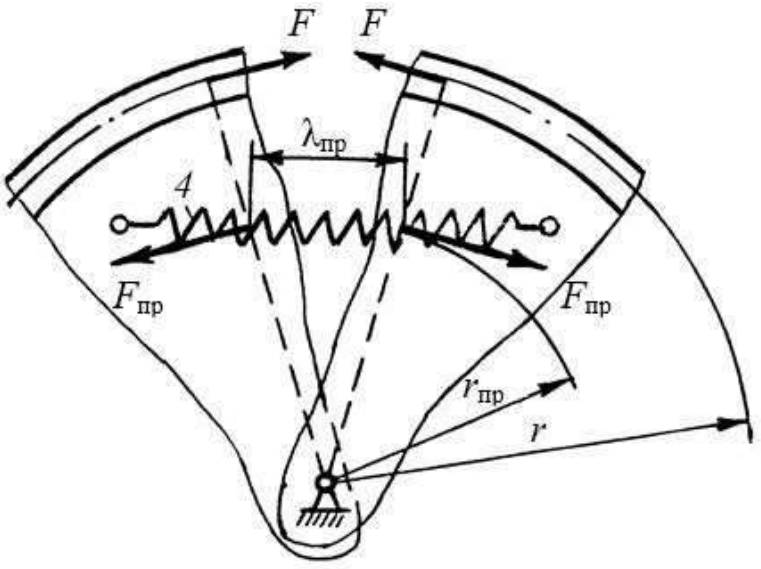


Рис. 3.16. Схема сил, действующих на пружину

Но сила пружины пропорциональна ее деформации $\lambda_{пр}$:

$$F_{пр} = C_{пр}\lambda_{пр}, \tag{3.163}$$

где $C_{пр}$ — жесткость.

Из (3.162) и (3.163):

$$C_{пр} = \frac{\beta T}{r_{пр}\lambda_{пр} n}. \tag{3.164}$$

Из соотношения:

$$\frac{\lambda_{пр}}{r_{пр}} = \frac{\pi m z'}{r}. \tag{3.165}$$

находят величину деформации пружины:

$$\lambda_{пр} = \frac{\pi m z' r_{пр}}{r}, \tag{3.166}$$

где m — модуль зубьев; z' — число зубьев, на которое поворачиваются половины колеса друг относительно друга.

Следовательно, жесткость пружины будет равна:

$$C_{\text{пр}} = \frac{\beta T r}{\pi m z' r_{\text{пр}}^2 n}. \qquad (3.167)$$

Кроме выборки мертвого хода при помощи пружин используют жесткую фиксацию, заключающуюся в предварительном относительном смещении половин раздвоенного зубчатого колеса и их жестком закреплении при помощи винтов, болтов, клеммовых соединений и т.п. На рис. 3.17 показана червячная передача с раздвоенным червячным колесом. Зубья половин *1* и *2* колеса прижимают поворотом эксцентрика *4* к разным сторонам зубьев червяка, после чего жестко фиксируют затяжкой болта *3*. Фиксация осуществляется за счет сил трения.

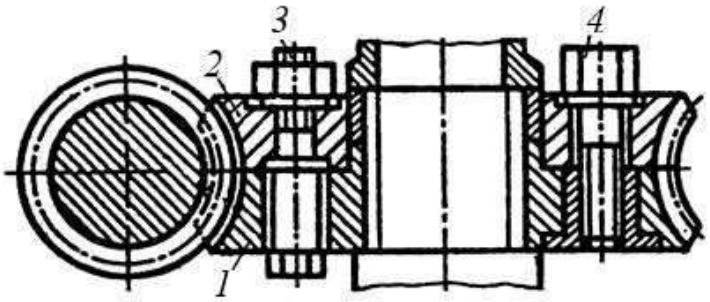


Рис. 3.17. Люфтовыбирающее устройство в червячной передаче

Основными недостатками описанного люфтовыбирающего устройства являются наличие большого числа дополнительных элементов (пружин, зубчатых колес, винтов и т.д.); увеличенные потери и ускоренный износ зубьев в зацеплении, обусловленные трением как на рабочей стороне зуба, так и на нерабочей; пониженная нагрузочная способность преобразователя движения, так как в передаче крутящего момента участвует половина венца колеса.

Указанные недостатки частично могут быть устранены в механизмах выборки мертвого хода с дополнительной кинематической цепью (*безлюфтовые механизмы с замкнутым энергетическим потоком*). Они позволяют осуществить полный выбор люфтов во всех составляющих звеньях путем принудительного разворота в противоположные стороны двух соосно расположенных элементов одной из передач. Обычно для образования замкнутого контура

к исходной кинематической цепи добавляют точно такую же параллельно расположенную кинематическую цепь, однако это необязательно. Иногда замыкающая кинематическая цепь может представлять собой цепь иного рода, чем исходная.

На рис. 3.18 приведена схема безлюфтового планетарного механизма. Исходная кинематическая цепь состоит из центрального колеса *1*, сателлита *3*, закрепленного на водиле *H*, и неподвижного центрального колеса *5*.

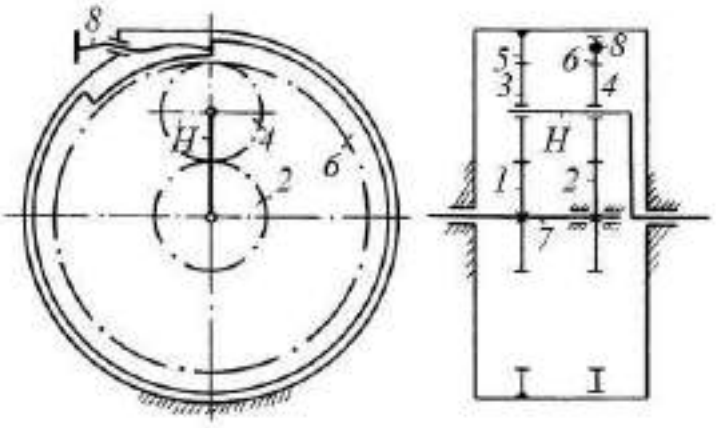


Рис. 3.18. Схема безлюфтового планетарного механизма

Для выборки люфтов устанавливают дополнительную кинематическую цепь, состоящую из центрального колеса *2*, соединенного с центральным колесом *1* при помощи упругого элемента (торсиона, пружины) *7*, сателлита *4*, подвижного центрального колеса *6* с внутренним зацеплением и винта *8*.

При завинчивании винта *8* подвижное центральное колесо *6* поворачивается и выбирает зазор в паре зубчатых колес *6* — *4*. Затем начинается поворот сателлита *4*, и выбирается зазор в паре *4* — *2*. Далее через торсион *7* поворот передается центральному колесу *1*, выбирается зазор в паре *1* — *3*, и далее поворот сателлита *3* приводит к выборке зазора в паре *3* — *5*. После выборки всех зазоров во всей кинематической цепи происходит дополнительная закрутка торсиона *7*, что обеспечивает постоянный натяг в цепи и исключает появление люфта при износе элементов отдельных передач.

Диаметр торсиона, мм, определяют из условия прочности на кручение:

$$d_T = \sqrt[3]{\frac{T}{0,2[\tau]}}, \qquad (3.168)$$

где T — вращающий момент на торсионе, Н·мм; $[\tau]$ — допускаемое касательное напряжение материала торсиона при кручении, МПа, равное:

$$[\tau] = \frac{\tau_T}{[n_T]}, \tag{3.169}$$

τ_T — предел текучести материала торсиона при кручении, МПа; $[n_T]$ — допустимый (требуемый) коэффициент запаса прочности. Принимают $[n_T] = 1{,}5–2{,}5$.

В проектных расчетах при отсутствии значений предела текучести τ_T материала торсиона можно принимать $[\tau] = 450–500$ МПа.

Длину торсионного вала, мм, находят из условия:

$$l = \frac{\varphi G J_\rho}{T}, \tag{3.170}$$

где φ — угол закручивания торсионного вала, рад (обычно принимают $\varphi = 0{,}09–0{,}18$ рад (5°–10°)); G — модуль упругости второго рода материала торсиона, МПа; J_ρ — полярный момент инерции поперечного сечения торсионного вала, мм^4.

Торсионы изготовляют из хромованадиевых сталей марок 60 С2ХФА, 50 ГФА и углеродистых сталей марок 60, 65, 70, 85.

3.3.2. Выборка мертвого хода в винтовых преобразователях движения

Различают два способа выборки бокового зазора в винтовых механизмах — *радиальное* и *осевое* смещение гайки относительно винта. Радиальное смещение осуществляют сжатием гайки в радиальном направлении, а осевое — смещением гайки относительно винта в осевом направлении.

При одинаковом значении нормальной составляющей ΔS_n бокового зазора (рис. 3.19) радиальные составляющие бокового зазора равны:

– для метрической резьбы с углом профиля $\alpha_M = 60°$:

$$\Delta S_p^M = \frac{\Delta S_n}{\sin\frac{\alpha_M}{2}} = \frac{\Delta S_n}{\sin 30^\circ} = 2\Delta S_n; \tag{3.171}$$

– для трапецеидальной резьбы с углом профиля $\alpha_T = 30°$:

$$\Delta S_p^T = \frac{\Delta S_n}{\sin\frac{\alpha_T}{2}} = \frac{\Delta S_n}{\sin 15°} = 3,86 \cdot \Delta S_n. \qquad (3.172)$$

Осевые составляющие бокового зазора:

– для метрической резьбы:

$$\Delta S_{oc}^M = \frac{\Delta S_n}{\cos\frac{\alpha_M}{2}} = \frac{\Delta S_n}{\cos 30^\circ} = 1,15\Delta S_n; \qquad (3.173)$$

– для трапецеидальной резьбы:

$$\Delta S_{oc}^T = \frac{\Delta S_n}{\cos\frac{\alpha_T}{2}} = \frac{\Delta S_n}{\cos 15°} = 1,04\Delta S_n. \qquad (3.174)$$

Следовательно, способ устранения мертвого хода радиальным смещением целесообразно применять для метрических резьб (рис. 3.19, *а*), т.е. для резьб с большим углом α профиля, а осевым смещением — для трапецеидальных резьб (рис. 3.19, *б*) и упорных резьб, а также для нестандартных резьб с прямоугольным или квадратным профилем витка.

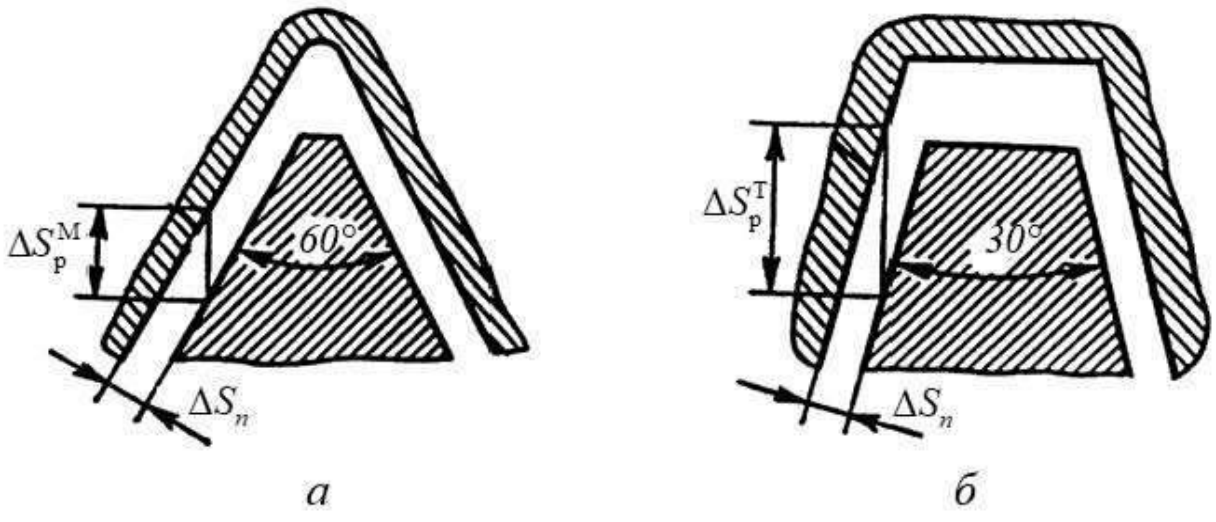


Рис. 3.19. Радиальные составляющие зазора в резьбах

Устройства, обеспечивающие выборку радиальной составляющей бокового зазора, представляют собой разрезные гайки. Конструкция люфтовыбирающего механизма с разрезной гайкой показана на рис. 3.20.

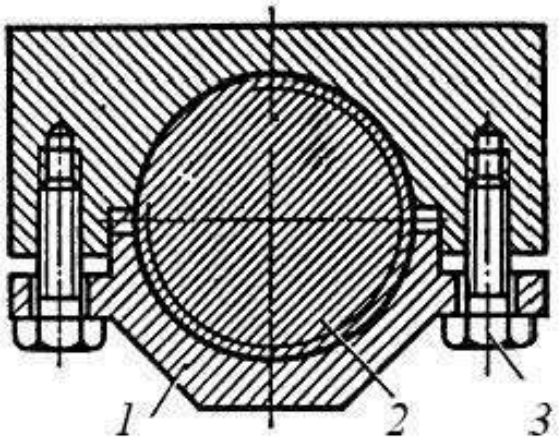


Рис. 3.20. Люфтовыбирающий механизм с разрезной гайкой

Две части гайки *1* стягиваются винтами *3* и обжимают винт *2*. Недостаток устройства — неравномерное обжатие винта и, как следствие, неравномерный износ резьбы гайки.

На рис. 3.21, *а*, *в*, *г*, *д* и на рис. 3.22, *а–г* приведены механизмы выборки радиальной составляющей бокового зазора, в которых необходимо периодически осуществлять подрегулирование. В устройстве на рис. 3.21, *б* подрегулирование происходит автоматически за счет пружин.

Устройства с разрезной гайкой и цанговым зажимом (рис. 3.21, *г* и рис. 3.22, *б*, *в*, *г*) обеспечивают более равномерное обжатие винта, что способствует равномерному его износу.

На рис. 3.23, *а* показана конструктивная схема люфтовыбирающего механизма на основе гайки с жесткой регулировкой осевого зазора, в котором выборку осевой составляющей бокового зазора осуществляют поворотом гайки *1*. При этом обеспечивается одновременный контакт правых профилей резьбы винта *2* и левых профилей гайки *1*, а также левых профилей резьбы винта *2* и правых профилей резьбы гайки *3* при сжатии витков винта (рис. 3.23, *в*).

Люфтовыбирающий механизм на основе гайки с эластичной регулировкой осевого зазора показан на рис. 3.24, *б*. Выборку осевой составляющей бокового зазора осуществляет пружина *2*, отжимая гайку *1* от гайки *4*, обеспечивая двухпрофильный контакт резьбы винта *3* с резьбами гаек *1* и *4* (рис. 3.24, *г*).

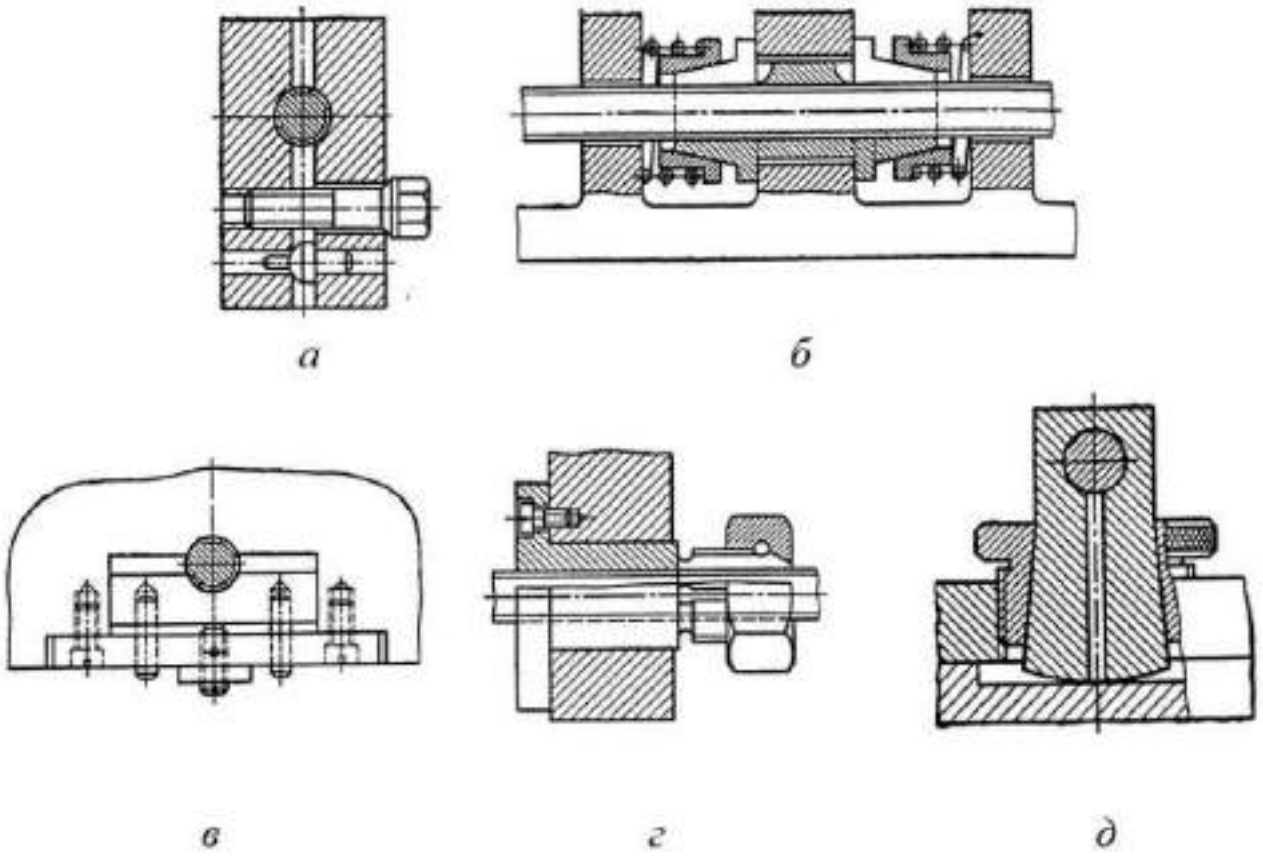


Рис. 3.21. Варианты конструкций люфтовыбирающих механизмов

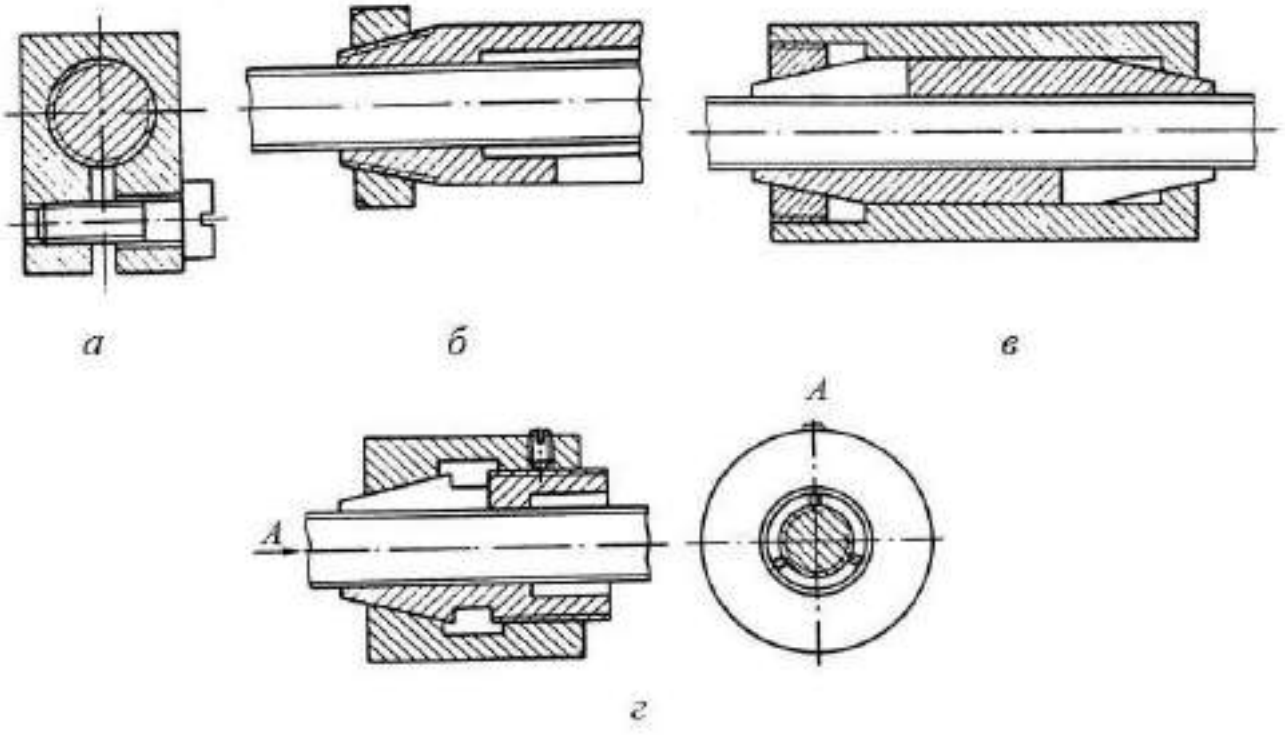


Рис. 3.22. Люфтовыбирающие механизмы с разрезными гайками

Механизмы выборки мертвого хода на основе гаек с жесткой и эластичной регулировкой осевой составляющей бокового зазора обеспечивают высокую точность относительного перемещения винта и гайки при их движении как в прямом, так и в обратном направлениях.

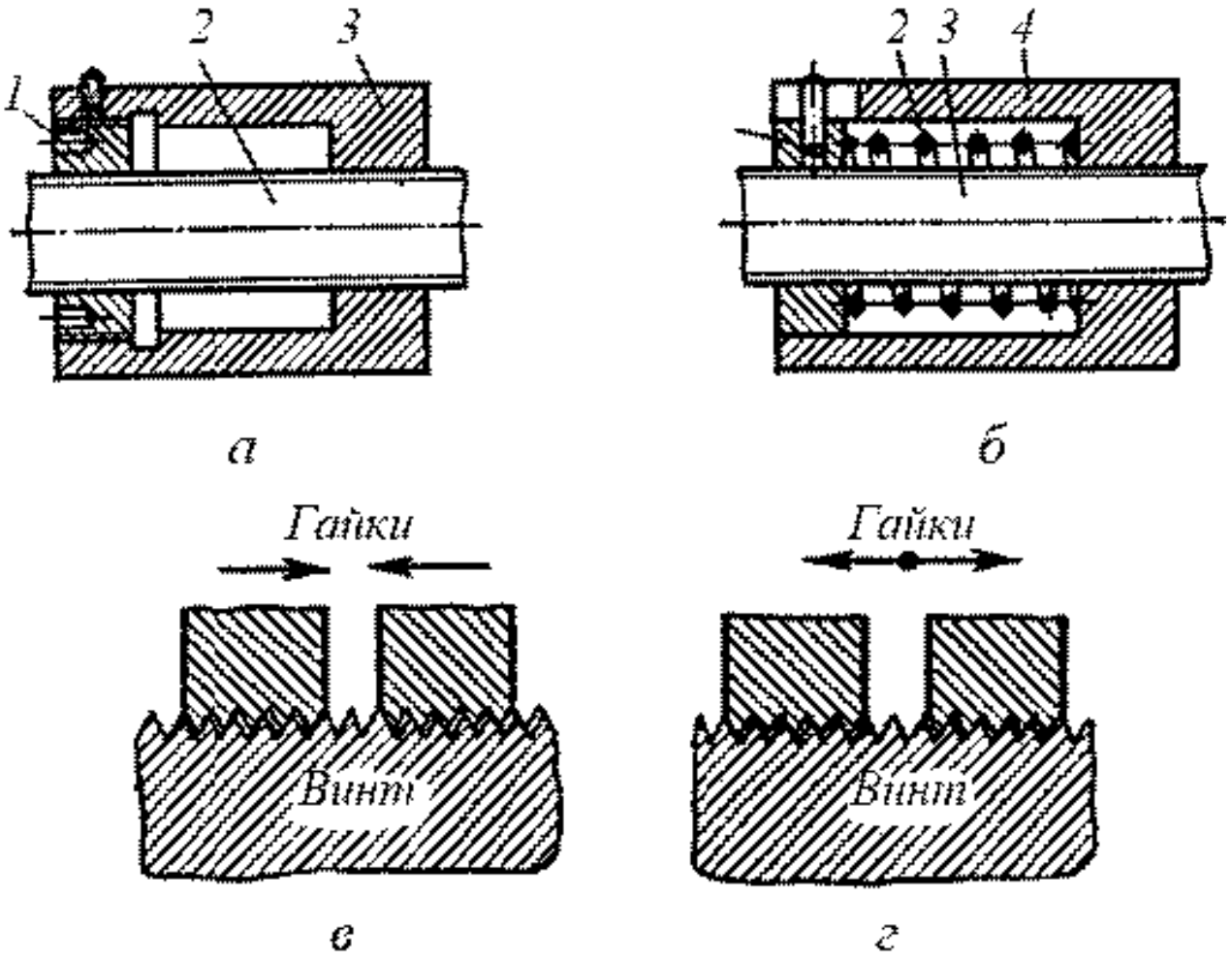


Рис. 3.23. Механизмы для выборки осевой составляющей бокового зазора

Конструктивные схемы механизмов для выборки осевой составляющей бокового зазора с периодическим подрегулированием путем затяжки дополнительных винтов *1* приведены на рис. 3.24, *а*, *б*, *в*, *и*, путем перемещения дополнительных гаек *1* по дополнительным резьбам — на рис. 3.24, *г*, *д* и с автоматическим подрегулированием за счет упругих элементов — пружин *1*, резиновых шайб — на рис. 3.24, *е*, *ж*, *к*.

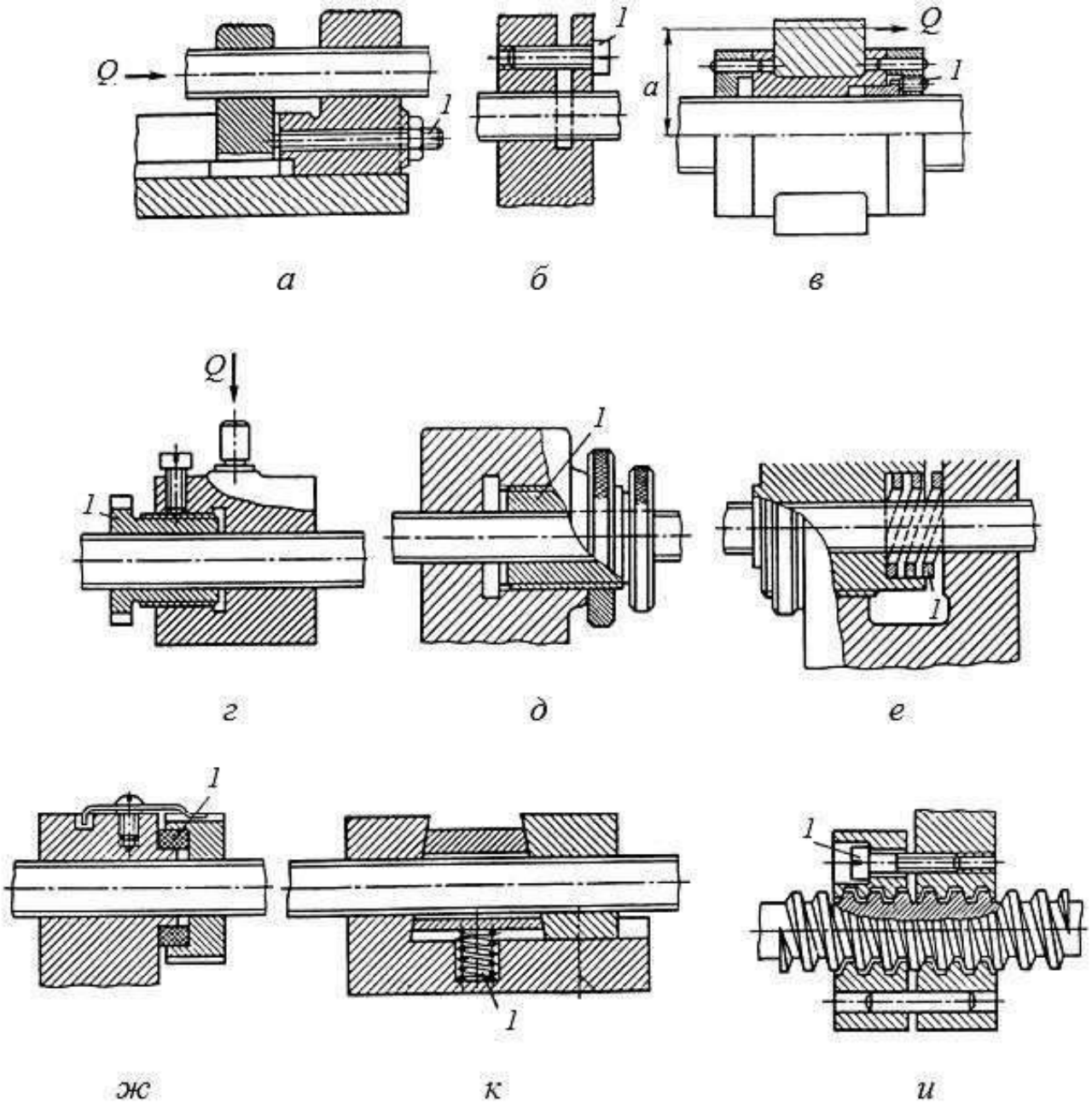


Рис. 3.24. Механизмы для выборки осевой составляющей бокового зазора с периодическим подрегулированием

Контрольные вопросы

1. В чем заключается оптимизация выбора силовых элементов ММ?

2. Как осуществляется предварительный выбор передачи по общим критериям?

3. Каковы особенности расчета преобразователей движения ММ?

4. Назовите пункты методики разработки преобразователя движения ММ.

5. Как достигается компактность преобразователя движения на основе зубчатых передач с неподвижными осями?

6. Каковы преимущества планетарных зубчатых передач перед передачами с неподвижными осями?

7. В чем смысл условий сборки, соосности и соседства при проектировании планетарных зубчатых передач?

8. Каковы особенности расчета преобразователей движения ММ на основе конических зубчатых передач?

9. Укажите достоинства и недостатки червячной передачи по сравнению с зубчатой.

10. Поясните принцип действия ШВП и РВП.

11. В чем состоят преимущества и недостатки РВП по сравнению с ШВП?

12. В чем состоят преимущества и недостатки ШВП по сравнению с реечной зубчатой передачей?

13. Поясните принцип действия волновой зубчатой передачи.

14. Что такое люфтовыбирающий механизм?

15. В каком случае преобразователь движения оснащается люфтовыбирающим механизмом?

4. ГИДРОПРИВОД МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

4.1. НАСОСЫ

4.1.1. Классификация насосов

В п. 2.2.1 сказано о свойстве обратимости гидромашин и о его следствии — тождественности принципиального устройства гидродвигателей и насосов. Это дает возможность, ознакомившись с конструкциями гидромоторов, конструкции насосов уже не рассматривать, ограничившись их основными характеристиками.



Рис. 4.1. Классификация насосов

На рис. 4.1 приведена полная классификация насосов по виду рабочих органов. В нее включены, кроме насосов объемного вытеснения, также и лопастные: центробежные, осевые и вихревые. Недостатки лопастных гидромашин с точки зрения их применения в ММ уже отмечены, поэтому в дальнейшем речь пойдет о насосах объемного вытеснения.

Из насосов объемного вытеснения наиболее широкое распространение в мехатронике получили *поршневые*, *пластинчатые* и *шестеренные*. Они и будут рассмотрены ниже.

4.1.2. Радиально-поршневые насосы

Конструктивная схема радиально-поршневого насоса показана на рис. 4.2.

Работает насос следующим образом. При вращении ротора *3* по часовой стрелке поршни *4* цилиндров, находящихся слева от вертикальной оси ротора, выдвигаются, и рабочая жидкость через окна всасывания *a* поступает из линии всасывания в расточки ротора (цилиндры). В то же время поршни цилиндров справа от вертикальной оси вдвигаются в расточки ротора, и жидкость через окна нагнетания *b* вытесняется в линию нагнетания.

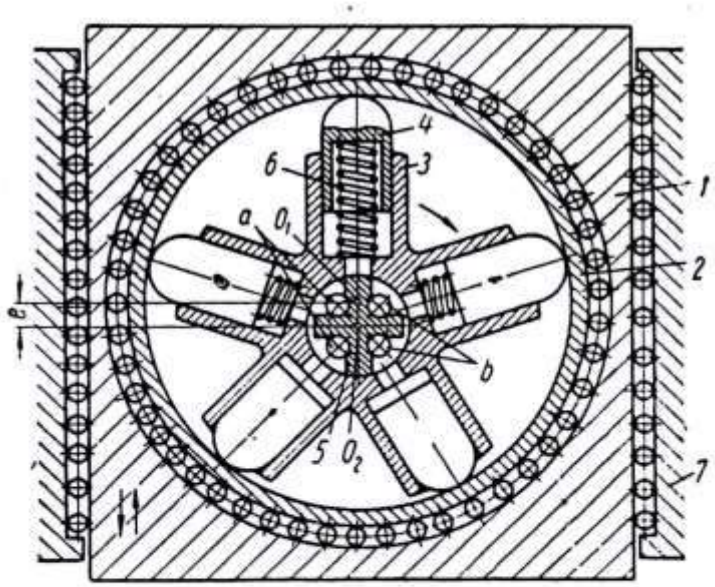


Рис. 4.2. Схема радиально-поршневого насоса:
1 — корпус; *2* — внутреннее кольцо подшипника качения;
3 — блок цилиндров (ротор); *4* — поршень (плунжер); *5* — цапфа;
6 — пружина; *7* — направляющая;
a — окно всасывания; *b* — окно нагнетания; *e* — эксцентриситет;
O_1 — ось отверстия в корпусе *1*; O_2 — ось вращения ротора *3*

Величина хода поршня за полный оборот равна $2e$, поэтому изменением эксцентриситета можно регулировать *производительность* насоса. Для этого корпус *1* установлен с возможностью вертикального перемещения в направляющих *7*.

Перемещение корпуса *1* таким образом, что точка O_1 занимает положение ниже точки O_2, приводит к *реверсированию потока* при неизменном направлении вращения ротора, причем окна *b* становятся окнами всасывания, а окна *a* — нагнетания.

Под действием сил давления жидкости, центробежных сил и упругости пружин *6* поршни прижимаются к кольцу *2*. Силы трения между поршнями и кольцом вовлекают кольцо во вращение вместе с ротором, за счет чего резко снижается скорость относительного скольжения в паре поршень — кольцо и уменьшается интенсивность износа контактирующих поверхностей.

Цапфа *5* выполняет функцию перегородки и устраняет возможность перетекания жидкости напрямую из окон *b* в окна *a*.

Производительность насоса:

– теоретическая (без учета утечек):

$$Q_т = 0,5\pi d^2 ezn, \tag{4.1}$$

– фактическая:

$$Q = Q_т \eta_{об}, \tag{4.2}$$

где d — диаметр поршня; z — число цилиндров ротора; $\eta_{об}$ — объемный КПД насоса.

Мощность на валу приводного электродвигателя определяют по формуле:

$$P_{дв} = Q_т \frac{p}{\eta_{мех}}, \tag{4.3}$$

где p — создаваемое насосом избыточное давление жидкости; $\eta_{мех}$ — механический КПД насоса.

Недостатком радиально-поршневых насосов по сравнению с другими типами являются большие размеры в поперечном сечении (т.е. ширина и высота). С целью повышения производительности без увеличения размеров ротор выполняют с несколькими рядами цилиндров.

Серийно выпускающиеся насосы представляют собой весьма сложные агрегаты, имеющие собственную гидросистему, средства регулирования и реверсирования и т.д.

Например, радиально-поршневые насосы НР имеют четыре модификации по управлению:

– нереверсивные с ручным управлением НРР и НРРШ (в насос НРРШ входит шестеренный насос для питания гидросистемы вспомогательных механизмов);

– нереверсивные НРС и реверсивные 2НРС со следящим гидравлическим управлением;

– реверсивные с электрогидравлическим механизмом управления на два (НРМ) и четыре (НР4М) значения производительности;

– нереверсивные с управлением по давлению НРД.

Основные технические параметры некоторых насосов серии НР приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Основные параметры насосов НР

Параметр	**НРР, НРРШ, НРС, 2НРС, НРМ, НР4М**			**НРД**		
	125А/200	**250А/200**	**450/200**	**125А/200**	**250А/200**	**500А/200**
Номинальная производительность, $дм^3$/мин	100	200	400	46	110	250
Потребляемая мощность, кВт	45	91	182	28	62	115
КПД: объемный полный	0,85 0,77		0,87 0,77	0,85 0,77		0,87 0,77
Масса, кг	726–770	1 348–1 430	1 608–1 690	758	1 400	1 660
Примечание. Номинальная частота вращения 960 об/мин. Номинальное давление 20 МПа						

4.1.3. Аксиально-поршневые насосы

Принцип действия аксиально-поршневой гидромашины, используемой в качестве двигателя, поясняется на рис. 2.11. Как насос эта гидромашина работает следующим образом.

При вращении ротора *1* плунжер *2* нижнего цилиндра, контактирующий с наклонной шайбой *4* посредством упорного подшипника качения, выдвигается за половину оборота на расстояние *h* из цилиндра, и рабочая жидкость поступает из линии всасывания через окно *a* и узел распределения *6* в цилиндр. За последующую половину оборота ротора плунжер снова вдвигается в цилиндр, и жидкость через узел распределения и окно *b* вытесняется в линию нагнетания.

Поворотом шайбы *4* против часовой стрелки можно получить $h = 0$ и, следовательно, $Q = 0$, а затем и реверсирование потока без изменения направления вращения ротора.

Теоретическая производительность насоса равна:

$$Q_т = 0,25\pi d^2 Dzn\mathrm{tg}\gamma. \qquad (4.4)$$

Фактическую производительность определяют по формуле (4.2).

Распространенное число цилиндров z = 7–9, максимальный угол γ_{max} = 20°. Частота вращения ротора n = 500–4 000 об/мин (меньшие значения — для насосов большой мощности).

Конструкция по рис. 2.13 представляет собой лишь один из вариантов исполнения насоса. Известны и серийно выпускаются насосы, в которых поршни связаны с наклонной шайбой шатунами, а наклонная шайба с ротором — специальным карданным валом; насосы с двумя наклонными шайбами — передней и задней; со вспомогательным пластинчатым насосом и пр.

Основные параметры нерегулируемых насосов аксиально-поршневых НА и аксиально-поршневых секционных НС со вспомогательным пластинчатым насосом приведены в табл. 4.2. Буква М в марке насоса означает *модернизированный*.

Таблица 4.2

Основные параметры насосов НА и НС…М

Параметр	НА			НС		
	10/320М	25/320М	32/320М	10/320М	25/320М	32/320М
Производительность, $дм^3$/мин	13,5	34,8	45	13,5	34,8	45
Потребляемая мощность, кВт	8,3	20,8	26,8	9,4	22	27,9
КПД:						
объемный	0,91	0,93	0,94	0,91	0,93	0,94
полный	0,86	0,87	0,88	0,80	0,83	0,86
Масса, кг	21	48		25	52,5	
Примечание. Номинальная частота вращения 1 500 об/мин. Номинальное давление 32 МПа						

Основные параметры регулируемых аксиально-поршневых насосов НАС (реверсивных с механическим регулированием), НА4М (реверсивных с электрогидравлическим управлением на 4 производительности), НАД (нереверсивных с автоматическим поддержанием постоянства мощности) даны в табл. 4.3.

Приведенные в табл. 4.3 параметры относятся к наименьшему и наибольшему насосам каждой марки.

Таблица 4.3

Основные параметры насосов НАС, НА4М, НАД

Параметр	НАС		НА4М		НАД	
	16/200	**140/200**	**40/200**	**140/200**	**140/200**	**140/200**
Производительность, $дм^3$/мин	22	200	56,5	200	56,5	200
Давление номинальное, МПа	20				6	
Потребляемая мощность, кВт	8,5	75	22,1	75	6,9	23,7
КПД: объемный полный	 0,92 0,86	 0,95 0,89	 0,93 0,87	 0,95 0,89	 – 0,83	 – 0,85
Масса, кг	32,5	140	92	152	65	130
Примечания: 1. Номинальная частота вращения 1 500 об/мин. 2. Максимальное давление насосов НАД 20 МПа.						

Данные табл. 4.1 и 4.3 могут служить базой для сравнения радиально-поршневых насосов с аксиально-поршневыми. Аналогами являются, например, насосы НР4М250А/200 и НА4М140/200. И тот, и другой — реверсивные, на номинальную производительность 200 $дм^3$/мин и давление 20 МПа. Но масса насоса НА4М140/200 в 9,4 раза меньше. И если к этому добавить, что он потребляет в 1,2 раза меньшую мощность, работает при большей частоте вращения и требует поэтому значительно менее тяжелого электродвигателя, то становится очевидной целесообразность применения насоса НА4М140/200 в приводе ММ.

4.1.4. Пластинчатые насосы

Простейший двухпластинчатый насос (рис. 4.3) содержит пластины *3*, расположенные в пазах ротора *6* и поджимаемые к поверхности статора *1* пружинами *2*. Ось ротора смещена на величину эксцентриситета *e* относительно расточки статора.

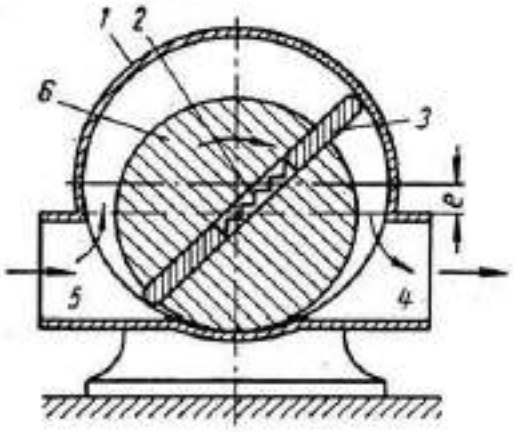


Рис. 4.3. Схема двухпластинчатого насоса:
1 — статор; *2* — пружина; *3* — пластина;
4 — полость нагнетания; *5* — полость всасывания; *6* — ротор

С передней и задней сторон пространство между ротором, пластинами и статором ограничено боковыми стенками.

При повороте ротора *6* по часовой стрелке объем камеры насоса, сообщающейся с полостью *5*, увеличивается, а камеры, сообщающейся с полостью *4*, уменьшается, в результате чего происходит всасывание жидкости из полости *5* и нагнетание в полость *4*.

Ротор *6* в нижней части имеет плотный контакт с поверхностью статора, поэтому в любом положении ротора одна из пластин отделяет полость *4* от полости *5*.

Изменение величины *e* в таком насосе невозможно, т.е. насос нерегулируемый. Подобные насосы используются для вспомогательных целей при невысоких давлениях в гидросистеме.

На рис. 4.4 показана схема регулируемого пластинчатого насоса с числом пластин $z > 2$.

Ротор имеет возможность перемещаться относительно статора. Положение ротора по рис. 4.4, *а* соответствует максимальной производительности (направление потока указано стрелками), положение по рис. 4.4, *б* — нулевой

производительности, по 4.4, *в* — максимальной производительности в направлении, обратном первоначальному. В любом положении ротора полости нагнетания и всасывания разделены контактом пластин с перемычками *a* и *b*, ширина которых не меньше расстояния между двумя соседними пластинами.

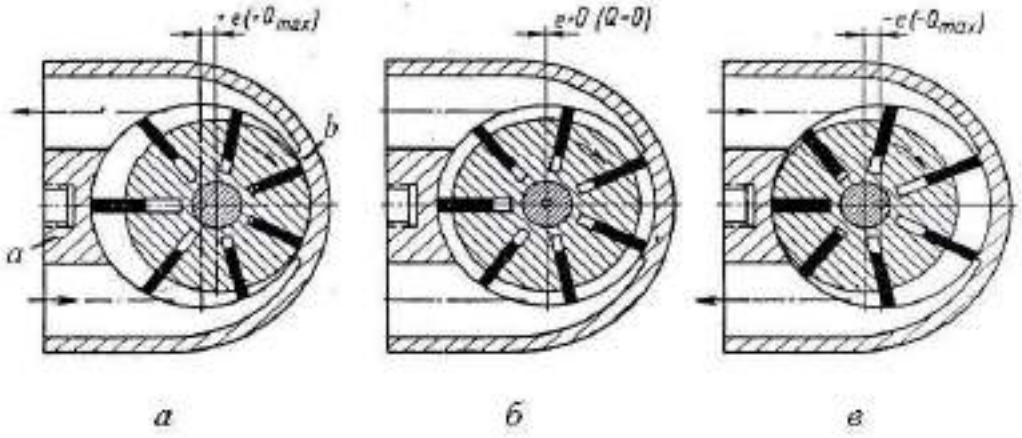


Рис. 4.4. Схема многопластинчатого насоса

Число пластин в таких насосах z = 6–12. Плотность контакта пластин со статором обеспечивается различными средствами: подпружиниванием, давлением жидкости, центробежными силами.

Теоретическая производительность многопластинчатого насоса с учетом толщины пластин равна:

$$Q_т = 2ben(\pi D - zs), \qquad (4.5)$$

где b — ширина ротора (т.е. ширина пластины); D — диаметр расточки статора; s — толщина пластины.

Параметры серийно выпускаемых регулируемых насосов Г12-5 приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Основные параметры насосов Г12-5 и БГ12-2

Параметр	Г12-5		БГ12-2			
	3АМ	5АМ	1АМ	2АМ	4АМ	5АМ
Производительность, дм^3/мин	0–58	0–105,6	5,4	19,4	56	102

Параметр	Г12-5		БГ12-2			
	3АМ	5АМ	1АМ	2АМ	4АМ	5АМ
Давление номинальное, МПа	6,3		12,5			
Потребляемая мощность, не более, кВт	8,1	13,6	2,0	5,65	15,1	26
КПД:						
объемный	0,86	0,88	0,72	0,81	0,83	0,9
полный	0,74	0,8	0,55	0,7	0,76	0,85
Масса, кг	30	40	9,5		22	
Примечание. Номинальная частота вращения 1 500 об/мин.						

Недостатком описанных пластинчатых насосов является большая неуравновешенная нагрузка на ротор от давления жидкости в полости нагнетания, поэтому насосы эти предназначены, как правило, для гидросистем с давлением не выше 7 МПа.

Указанный недостаток отсутствует в пластинчатых насосах двойного действия типа БГ12-2, конструкция которых аналогична конструкции пластинчатого гидромотора, показанного на рис. 2.14.

Насосы двойного действия выпускаются на давления до 14 МПа.

Недостаток таких насосов — невозможность их регулирования.

Основные рабочие параметры насосов БГ12-2 даны в табл. 4.4.

Теоретическая производительность, $м^3/с$, насоса двойного действия:

$$Q_т = 2vh, \tag{4.6}$$

где v — средняя окружная скорость пластины; h — рабочая высота пластины.

Подстановка в (4.6) выражений для v и h:

$$v = \frac{\pi n(r_2 + r_1)}{60}; \tag{4.7}$$

$$h = r_2 - r_1, \tag{4.8}$$

дает выражение:

$$Q_т = \frac{\pi n(r_2^2 - r_1^2)b}{30}, \tag{4.9}$$

или:

$$Q_т = 2\pi n(r_2^2 - r_1^2)b, \text{ м}^3/\text{мин}. \quad (4.10)$$

При сравнении параметров пластинчатых и поршневых насосов обращает на себя внимание существенно меньший объемный КПД пластинчатых насосов. Причина этого состоит в невозможности предотвращения перетечек жидкости между пластинами и поверхностью расточки статора, между пластинами и боковыми стенками.

К достоинствам пластинчатых насосов следует отнести их меньшие массы при равных производительностях.

4.1.5. Шестеренные насосы

Шестеренные насосы так же, как и шестеренные гидромоторы (рис. 2.16), отличаются простотой конструкции.

Кроме того, следует отметить надежность в эксплуатации и несколько более высокий, по сравнению с пластинчатыми насосами, объемный КПД.

Считается, что максимальное давление, развиваемое шестеренными насосами, равно 10 МПа, но специальными насосами (в авиационных гидросистемах) достигается и 20 МПа.

Основной недостаток шестеренных гидромашин — невозможность их регулирования — отмечен выше.

Как правило, шестеренные насосы используют для вспомогательных целей.

Основные параметры низконапорных шестеренных насосов Г11-2 приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Основные параметры насосов Г11-2

Параметр	Г11-22	Г11-23А	Г11-23	Г11-24А	Г11-24	Г11-25А
Производительность, дм^3/мин	18	26	38	50	72	104
Потребляемая мощность, кВт	1,3	1,6	2,3	3,0	4,1	5,8

КПД:						
объемный	0,78	0,8	0,82	0,88	0,89	0,91
полный	0,56	0,64	0,68	0,72	0,74	0,76
Масса, кг	6	8,7		12		17
Примечания: 1. Номинальная частота вращения 1 500 об/мин. 2. Номинальное давление 2,5 МПа.						

4.2. КЛАПАНЫ И ДРОССЕЛИ

4.2.1. Обратные клапаны

Обратный клапан, например, типа Г51-2 (рис. 4.5) состоит из корпуса *1*, плунжера *3* с пружиной *4* и пробки *5*. Пружина поджимает плунжер к коническому седлу корпуса. Масло, подводимое в отверстие *7*, действует на нижнюю торцовую поверхность плунжера, преодолевает силу пружины и приподнимает плунжер. Между плунжером и коническим седлом появляется зазор, через который масло поступает в отводное отверстие *2*.

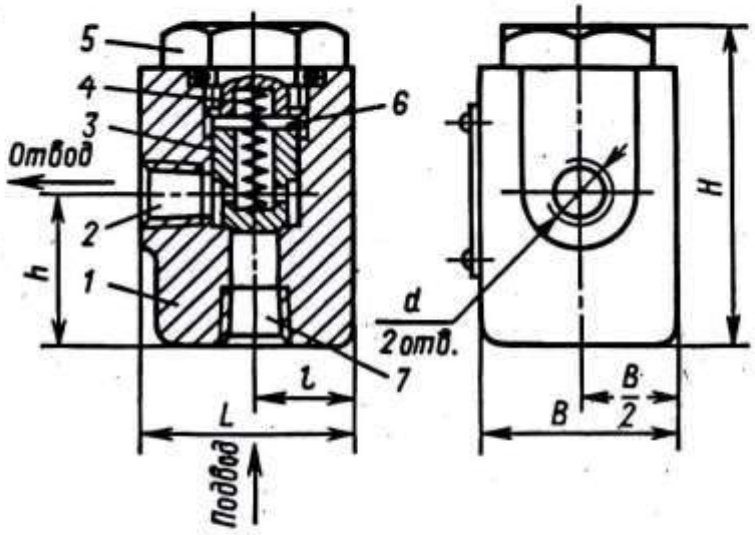


Рис. 4.5. Обратный клапан марки Г51-2:
1 — корпус; *2* — отводное отверстие; *3* — плунжер; *4* — пружина;
5 — пробка; *6* — полость; *7* — отверстие для подвода масла

При изменении направления потока давление масла в отверстии *2* действует на верхнюю торцовую поверхность плунжера со стороны полости *6* и вместе с пружиной плотно прижимает плунжер к седлу, перекрывая поток из отверстия *2* в отверстие *7*.

Таким образом, клапан обеспечивает прохождение жидкости только в одном направлении — из отверстия *7* в отверстие *2*.

Клапаны Г51-2 устанавливают непосредственно на концах отрезков трубопровода. Предусмотрено также исполнение со стыковым присоединением (клапаны ПГ51-2), отличающееся только конструкцией корпуса.

Основные параметры обратных клапанов типа Г(ПГ)51-2 приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Основные параметры обратных клапанов Г(ПГ)51-2

Параметр	Г51-21	Г51-22	Г51-23	Г51-24	Г51-25
Номинальный расход, $дм^3$/мин	8,0	20	40	80	160
Диаметр: условного прохода, мм отверстия *d*	8 $R_c 1/4$	10 $R_c 3/8$	16 $R_c 1/2$	20 $R_c 3/4$	32 $R_c 1 1/4$
Размеры, мм: *L* *B* *H* *h*	 55 52 83 40		 70 52 105 54		 103 82 138 69
Масса, кг	1,2		1,6		5,45
Примечание. Номинальное давление 20 МПа					

Существует ряд типовых случаев применения обратных клапанов. Один из них — установка параллельно с дросселем — будет рассмотрен ниже.

Промышленность выпускает обратные клапаны различных конструкций.

4.2.2. Предохранительные клапаны

Предохранительные клапаны в гидроприводе предназначены для предотвращения превышения давлением допустимой величины. Они действуют эпизодически в аварийных режимах работы — пропускают масло из напорной линии в сливную.

Схема действия предохранительного клапана *прямого действия* показана на рис. 4.6.

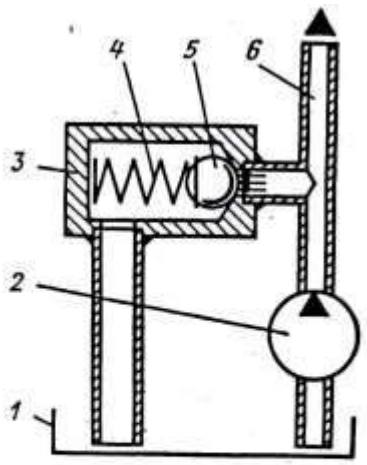


Рис. 4.6. Схема действия предохранительного клапана:
1 — маслобак; *2* — насос; *3* — клапан; *4* — пружина;
5 — шарик; *6* — трубопровод

Насос *2* всасывает масло из маслобака *1* и подает в гидросистему по трубопроводу *6*, давление масла действует на шарик *5* предохранительного клапана *3*, прижатый к седлу пружиной *4*. В момент, когда сила давления жидкости на шарик превысит силу пружины, шарик отойдет от седла влево, и масло через образовавшуюся щель начнет сливаться в бак. Таким образом, клапан будет поддерживать в трубопроводе давление не выше значения, определяемого силой воздействия пружины на шарик. Изменяя силу пружины, можно регулировать величину максимального давления в гидросистеме.

Клапаны прямого действия применяют при небольших расходах и давлениях рабочей жидкости, так как увеличение этих параметров приводит к резкому возрастанию размеров пружины. Поэтому в гидросистемах чаще используют аппараты *непрямого действия*, в которых небольшой вспомогательный клапан управляет перемещением переливного золотника, подключенного к напорной и сливной линиям.

В качестве примера могут быть приведены предохранительные клапаны непрямого действия марки Г52-2 (рис. 4.7 и табл. 4.7).

Таблица 4.7

Основные параметры предохранительных клапанов Г52-2

Параметр	Г52-22	Г52-23	Г52-24	Г52-25
Номинальный расход, $дм^3/мин$	20	40	80	160

Параметр	Г52-22	Г52-23	Г52-24	Г52-25
Диаметр: условного прохода, мм отверстия d	 10 $R_c3/8$	 16 $R_c1/2$	 20 $R_c3/4$	 32 $R_c1\frac{1}{4}$"
Размеры, мм:				
L	64	96		120
B	66	82		100
H	180	200		240
h_1	31	37		47
h_2	49	62		91
Масса, кг	2,5	4,6		8,4
Примечание. Номинальное давление 20МПа.				

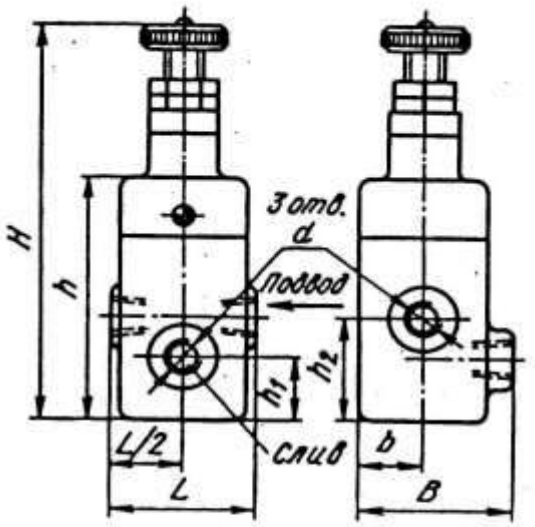


Рис. 4.7. Предохранительный клапан марки Г52-2

4.2.3. Дроссели и дроссельные регуляторы скорости гидродвигателя

Дроссель является *местным гидравлическим сопротивлением* течению жидкости и применяется для ограничения ее расхода или создания перепада давления. Как правило, дроссели используются для регулирования скорости перемещения штока гидроцилиндров или частоты вращения вала гидромотора.

Дросселирование жидкости сопровождается интенсивным тепловыделением, поэтому дроссельное регулирование не рекомендуется в гидросистемах мощностью свыше 4 кВт.

Различают дроссели вязкостного сопротивления и инерционного сопротивления. В дросселях вязкостного сопротивления потеря давления обеспечивается, как показывает само название, преимущественно вязкостным сопротив-

лением потоку жидкости в длинном дроссельном канале. В дросселях инерционного сопротивления длина канала мала, а потеря давления определяется в основном деформацией потока жидкости, сопровождающейся вихреобразованием при внезапном сжатии русла, расширении и т.п.

Примером дросселя вязкостного сопротивления служит так называемый *линейный* дроссель (рис. 4.8, *а*), состоящий из дроссельного винта *1*, помещенного во втулку *2*, и вспомогательного винта *3*, предназначенного для осевого перемещения винта *1*. Жидкость подается в отверстие *a*, проходит по винтовой канавке дроссельного винта и отводится через отверстие *b*. При вращении винта *1* он перемещается вдоль винта *3*, вследствие чего изменяется длина пути прохождения жидкости по винтовой канавке, а значит, и сопротивление дросселя.

Схема многошайбового инерционного дросселя, содержащего набор из нескольких шайб, показана на рис. 4.8, *б*. Суммарное сопротивление такого дросселя регулируется подбором требуемого количества шайб.

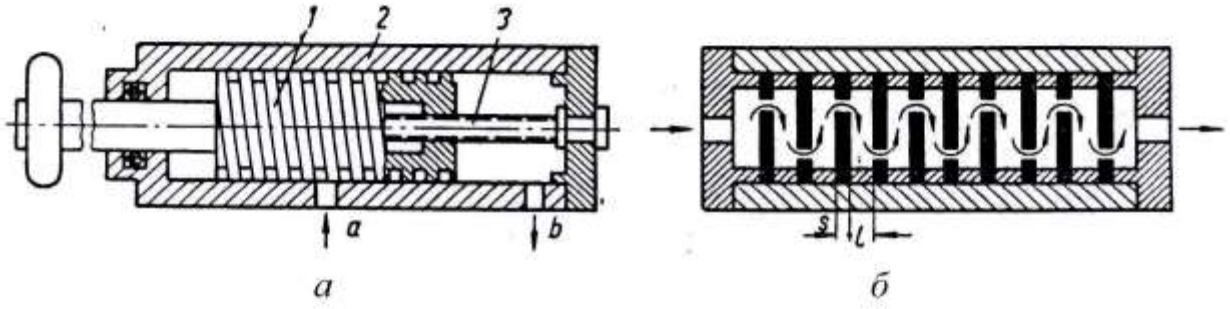


Рис. 4.8. Дроссели:
а — вязкостного сопротивления; *б* — инерционного сопротивления

Кроме приведенных используют дроссели поворотного (кранового) типа, игольчатые и т.д.

На основе дросселей созданы простейшие устройства для регулирования скорости гидродвигателя в приводах с нерегулируемыми насосами.

Принцип регулирования скорости гидроцилиндра с дроссельным регулятором на входе поясняет рис. 4.9, *а*.

Регулируемый дроссель *1* расположен на линии нагнетания жидкости в цилиндр *2*. Перед дросселем в систему включен переливной клапан *3*. Конструкция переливного клапана подобна конструкции клапана предохранительного.

Нерегулируемый насос создает давление $p_н$; перемещение поршня, нагруженного силой F, происходит при давлении в поршневой полости $p_р$; штоковая полость соединена со сливной линией, жидкость в которой находится под давлением $p_{сл}$.

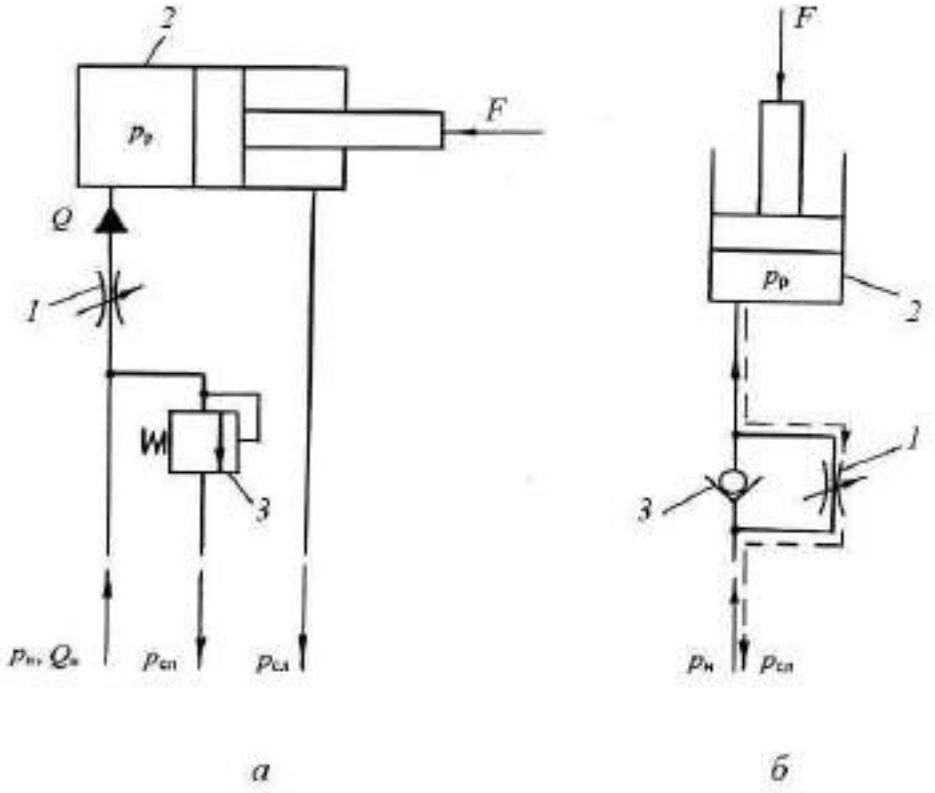


Рис. 4.9. Схемы дроссельного регулирования:
а — регулирование скорости гидроцилиндра двустороннего действия с дросселем на входе; *б* — регулирование скорости обратного хода гидроцилиндра одностороннего действия

Расход жидкости через дроссель равен:

$$Q = \mu f \sqrt{\frac{2(p_н - p_р)}{\rho}}, \qquad (4.11)$$

где μ — коэффициент расхода; f — площадь проходного сечения дросселирующей щели; ρ — плотность жидкости.

Скорость поршня прямо пропорциональна Q.

Насос создает в сети расход жидкости $Q_н > Q$. Разность расходов $Q_н - Q$ поступает через переливной клапан в сливную линию. Для этого клапан *3* должен быть установлен на давление, развиваемое насосом, т.е. $p_н$.

Следовательно, при $Q_н$ = const и F = const (т.е. $p_р$ = const) скорость поршня прямо пропорциональна величине f. Это дает возможность регулировать скорость с помощью дросселя.

Используются также схемы с установкой дросселя на сливной линии или на ответвлении.

Схема дроссельного регулирования скорости обратного хода гидроцилиндра одностороннего действия типа домкрата, нагрузка F на который постоянна по направлению, приведена на рис 4.9, *б*.

И подача жидкости в цилиндр *2*, и слив ее из цилиндра производятся по одному участку трубопровода, который при рабочем ходе поршня (вверх) соединяется с насосом, а при обратном (вниз) — с маслобаком. Параллельно дросселю *1* установлен обратный клапан *3*.

В период рабочего хода жидкость под давлением $p_н$ поступает от насоса. Обратный клапан открывается, жидкость движется в основном через него, и давление в цилиндре $p_р$ незначительно (на величину сопротивления обратного клапана) меньше $p_н$. Обратный ход поршня осуществляется под действием силы F. Обратный клапан закрывается, и цилиндр соединяется с маслобаком через дроссель, причем скорость опускания поршня при данном перепаде давлений $p_р - p_{сл}$ определяется площадью f дросселя (согласно (4.1)).

Дроссель является составной частью устройства, называемого *регулятором потока*, предназначенного для поддержания постоянного расхода в гидросети независимо от внешней нагрузки на гидродвигатель. Подробно конструкции регуляторов потока рассмотрены в [1, 2, 10] и здесь не приводятся.

В качестве примера в табл. 4.8 приведены основные рабочие параметры регуляторов потока ПГ55-2 [7].

Таблица 4.8

Основные параметры регуляторов потока ПГ55-2

Параметр	ПГ55-22	ПГ55-24	ПГ55-25
Расход, дм^3/мин:			
максимальный	20	80	160
минимальный	0,06	0,12	0,25
Диаметр условного прохода, мм	10	20	32
Габаритные размеры, мм:			
длина	112	125	142
ширина	105	135	175
высота	100	110	135
Масса, кг	4,5	7,5	15,5
Примечания:			
1. Максимальное давление 20 МПа.			
2. Отклонение расхода от установленного ± 5 %.			

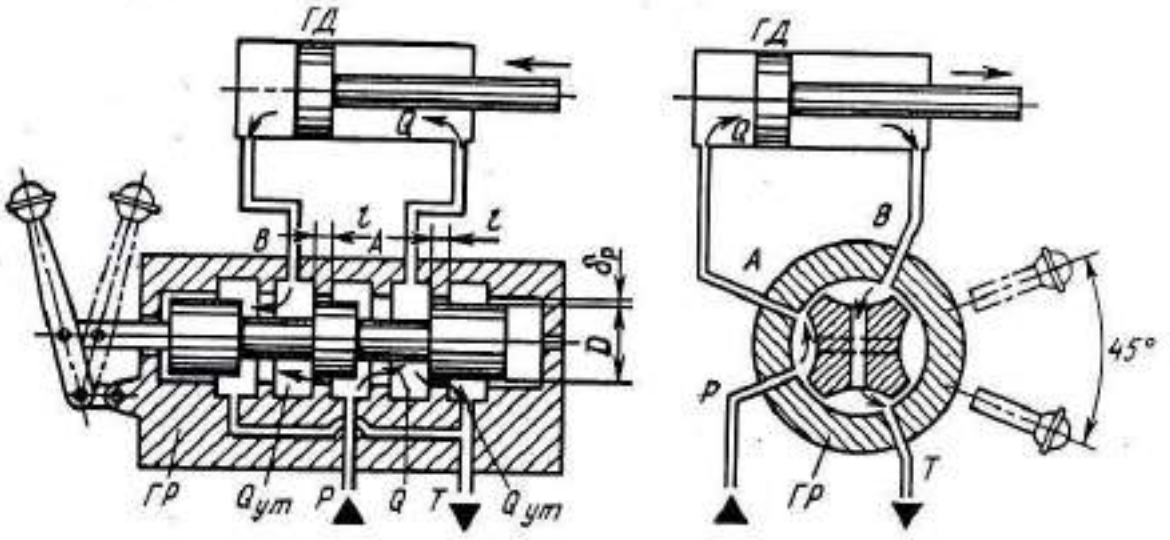
4.3. ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛИ

4.3.1. Общие сведения

Распределение рабочей жидкости между агрегатами гидросистемы осуществляется специальными устройствами — гидрораспределителями. По виду рабочего элемента различают распределители *золотниковые*, *крановые* и *клапанные*.

Принцип действия золотникового распределителя поясняет рис. 4.10, *а*.

Золотник представляет собой цилиндрическую деталь типа плунжера с проточками (канавками), установленную в корпусе (*ГР*) с возможностью осевого перемещения и соединенную с приводом управления. На рис. 4.10, *а* изображен распределитель с ручным управлением посредством рукоятки. В корпусе выполнены каналы для подвода жидкости от насоса (*P*), слива (*T*) и соединения полостей гидродвигателя (в данном случае гидроцилиндра *ГД*) либо с насосом, либо со сливом (*A*, *B*).



а *б*

Рис. 4.10. Схемы распределителей:
а — золотникового; *б* — кранового

В положении золотника, показанном на рис. 4.10, *а*, поток жидкости *Q* от насоса по каналу *P* и дальше по линии *A* поступает в штоковую полость цилиндра *ГД*, а из поршневой полости вытесняется по каналу *B* в сливной канал *T*.

Перемещение рукоятки в положение, показанное пунктиром, приводит к тому, что поток от насоса по каналу *P* и линии *B* поступает в поршневую полость цилиндра *ГД*, а из штоковой — вытесняется по линии *A* в канал *T*. Происходит реверсирование потока, сопровождающееся изменением направления движения поршня.

Перемещение золотника в корпусе возможно только при наличии зазоров $\delta_р$ между его поверхностью диаметром *D* и расточкой корпуса, а зазоры обусловливают утечки (перетечки) жидкости между полостями. Поэтому в корпусе выполняют специальные каналы для отвода утечек в сливную линию.

Распределитель, золотник которого может занимать два положения, называется *двухпозиционным*. *Трехпозиционные* распределители имеют среднюю (нейтральную) позицию, в которой возможна остановка гидродвигателя.

Крановый распределитель с управлением с помощью рукоятки изображен на рис. 4.10, *б*. Он содержит цилиндрическую или конусную пробку, помещенную внутрь корпуса (*ГР*) и имеющую возможность относительного поворота приводом управления (в данном случае рукояткой).

В исходном положении пробки жидкость от насоса по каналу *P* и затем по линии *A* поступает в поршневую полость цилиндра *ГД*, а из штоковой полости — по линии *B* в сливной канал *T*. Перевод рукоятки в положение, показанное пунктирными линиями, обеспечивает реверсирование потока.

В клапанном распределителе с ручным приводом (рис. 4.11) поворот рукоятки *1* из нейтрального положения, например, против часовой стрелки приводит к тому, что клапан *2* перемещается вниз, и жидкость от насоса поступает в камеру *4* и затем — через канал *3* к гидродвигателю. Другой клапан пружиной поджимается к своему гнезду.

Распределители каждого типа имеют свои преимущества. Так, крановые распределители наиболее просты по конструкции, а для клапанных распределителей характерна практически абсолютная герметичность в закрытом положении. По сумме эксплуатационных качеств наилучшим образом выглядят золотниковые распределители, в их конструкциях легко реализуются многопозиционность, разнообразие приводов (ручной, электрический, электрогидравлический, гидравлический и т.д.), хорошая управляемость. Именно золотниковые распределители получили наиболее широкое распространение в гидроприводе мехатронных модулей.

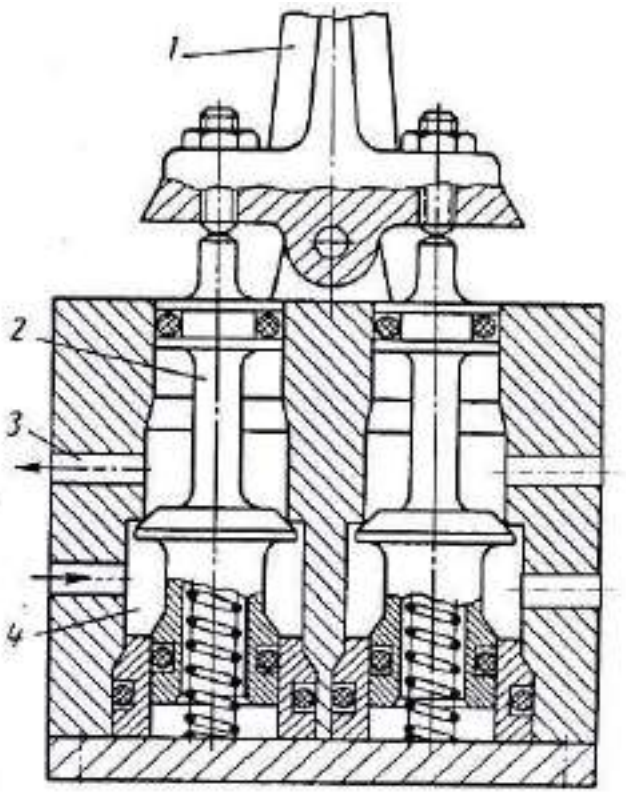


Рис. 4.11. Клапанный распределитель

4.3.2. Золотниковые распределители

По типу управления различают гидрораспределители с ручным управлением от рукоятки или поворотной кнопки; с ножным управлением; с механическим управлением от кулачка; с гидравлическим управлением от вспомогательного распределителя (пилота); с электрическим управлением от толкающего электромагнита постоянного или переменного тока; с электрогидравлическим управлением; с пневматическим управлением; с пневмогидравлическим управлением.

Для мехатронных модулей и систем характерна высокая степень автоматизации, при которой ручное и ножное управление неприемлемы. Остальные же типы управления могут применяться в зависимости от конкретного назначения модуля и окружающей обстановки.

Распределители подразделяются в зависимости от диаметра условного прохода D_y, который примерно равен диаметру подводящего и сливного отверстий. В табл. 4.9 приведены рекомендуемые соотношения между D_y и номинальным расходом жидкости через распределитель.

Таблица 4.9

Рекомендуемые соотношения между диаметром условного прохода и расходом жидкости

D_y, мм	6	8	10	16	20	32
$Q_{ном}$, дм^3/мин	6,3	12,5	20	50	80	200

Считая D_y равным диаметру подводящего канала, нетрудно определить номинальную скорость потока жидкости для каждой пары (D_y, $Q_{ном}$) и убедиться, что она примерно равна 4 м/с. При необходимости расход жидкости через распределитель может быть увеличен до $2Q_{ном}$, но скорость жидкости в трубопроводе не должна намного превышать номинальную, поэтому в том случае, когда $Q > Q_{ном}$, следует соответственно увеличить диаметр трубопровода по формуле:

$$d = d_{ном}\sqrt{\frac{Q}{Q_{ном}}}, \qquad (4.12)$$

где d — увеличенный диаметр; $d_{ном}$ — диаметр, при котором скорость имеет номинальное значение.

По виду присоединения различают *резьбовое* и *стыковое* присоединения распределителей. В распределителях с резьбовым присоединением отверстия для подачи и отвода жидкости выполнены непосредственно в корпусе. В распределителях со стыковым присоединением эти отверстия выведены на стыковую плоскость, соединение с гидросистемой производится через специальные панели, или плиты.

Распределители выполняют двух- и трехпозиционными, в зависимости от числа позиций (фиксированных положений) золотника относительно корпуса. Каждая позиция обеспечивает подключение определенным образом гидродвигателя к насосной и сливной линиям гидросистемы. Например, первому положению золотника двухпозиционного распределителя соответствует вращение вала реверсивного гидромотора по часовой стрелке, а второму положению — против часовой стрелки. Трехпозиционный же распределитель позволяет выполнять, кроме прямого и обратного вращения (первое и третье положения золотника), еще и остановку гидромотора (второе положение золотника).

О том, как соединяются линии в том или ином положении золотника, дает представление *схема* распределителя. Полная схема содержит также условное изображение устройства управления (рукоятки, электромагнита, возвратной пружины и т.д.) [19].

Утечка по зазорам золотника зависит от перепада давлений и вязкости рабочей жидкости. Ориентировочные максимальные значения утечек при давлении 20 МПа и вязкости масла около 40 сСт даны в табл. 4.10.

Таблица 4.10

Максимальная утечка по зазорам золотника

Условный проход, мм	8	10	16	20	32
Утечка, $дм^3$/мин	0,05	0,1	0,2		0,5

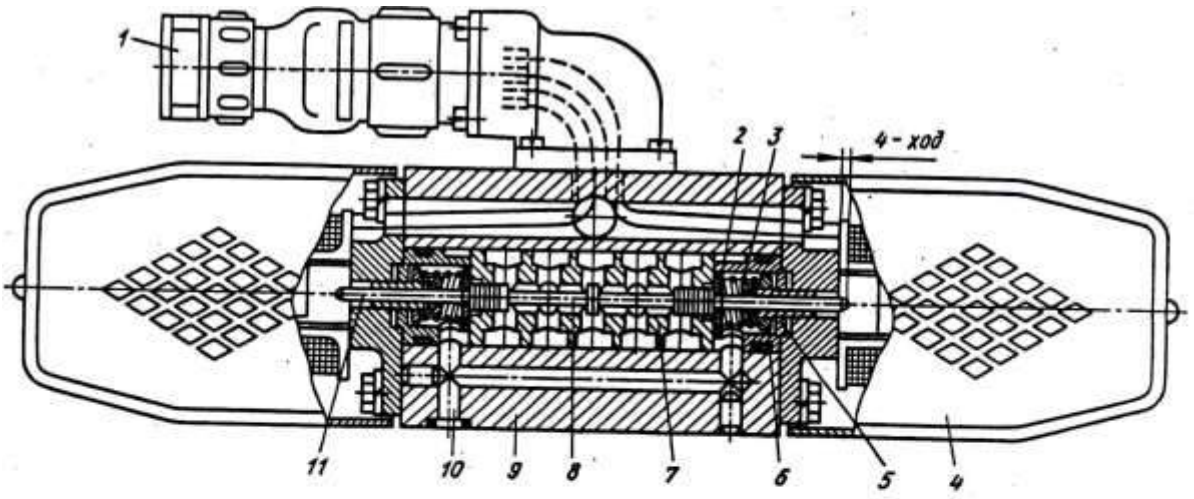
Потеря давления потока при максимальном расходе в подавляющем большинстве распределителей лежит в интервале 0,8–1,0 МПа.

На рис. 4.12 представлен внешний вид, а на рис. 4.13, *а* — устройство трехпозиционного гидрораспределителя ПГ73-1 с электрическим управлением.

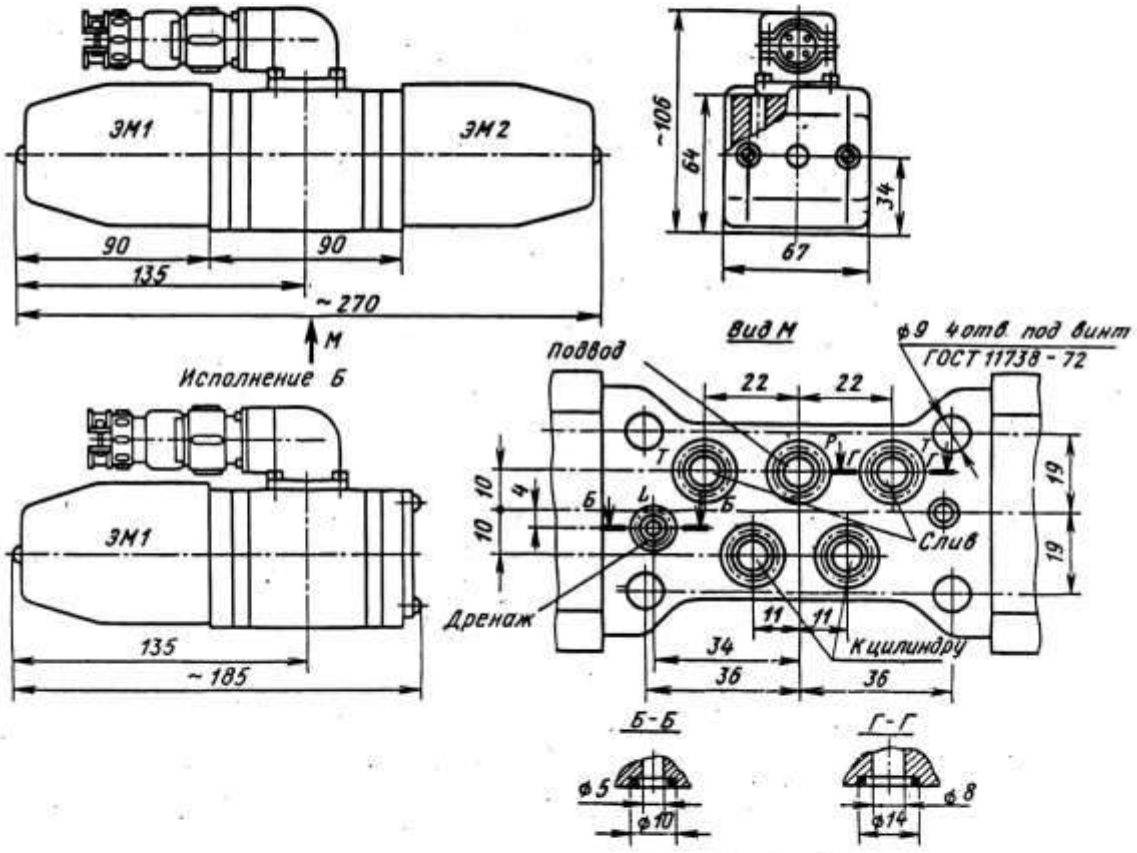


Рис. 4.12. Внешний вид гидрораспределителя ПГ73-1

Управление осуществляется двумя толкающими электромагнитами *4* (рис. 4.13, *а*). Поскольку электромагниты приемлемых размеров не способны развивать больших усилий, то непосредственное воздействие на золотник *8* используется в распределителях с малыми условными проходами (6 мм и 8 мм).



а



б

Рис. 4.13. Гидрораспределитель ПГ73-1:
а — конструкция; *б* — габаритные и присоединительные размеры;
1 — штепсельный разъем; *2* — шайба; *3* — пружина; *4* — электромагнит;
5 — втулка; *6* — чашка; *7* — гильза; *8* — золотник; *9* — корпус;
10 — дренажное отверстие; *11* — толкатель

Левый электромагнит посредством толкателя *11* перемещает золотник внутри гильзы *7* в правое крайнее положение, а правый — в левое крайнее положение. Пружины *3* после отключения электромагнитов возвращают золотник в среднее — нейтральное — положение. Утечки из торцовых полостей, в которых расположены пружины, отводятся в дренажное отверстие *10*. Шайба *2*, втулка *5* и чашка *6* предназначены для установки пружины *3* в корпусе *9* и передачи ее усилия на толкатель *11*.

Подводящие и сливные отверстия выполнены в нижней опорной плоскости (рис. 4.13, *б*). Подключение распределителя к гидросистеме осуществляется через промежуточную плиту с каналами и резьбовыми отверстиями.

Рассматриваемый распределитель может быть выполнен двухпозиционным (рис. 4.13, *б*, исполнение Б), при этом он оснащается не двумя, а одним электромагнитом, и возврат золотника в исходное положение производится пружиной.

Гидрораспределители с большими условными проходами ПГ73-2 и электрогидравлическим управлением представляют собой комбинацию управляющего распределителя (пилота) ПГ73-11 и управляемого им основного распределителя. В основном распределителе золотник перемещается давлением на толкатель подаваемой пилотом жидкости.

Основные параметры распределителей ПГ73 приведены в табл. 4.11.

Таблица 4.11

Основные параметры гидрораспределителей с электрическим и электрогидравлическим управлением

Параметр	ПГ73-11	ПГ73-12	ПГ73-24	ПГ73-25
Условный проход, мм	8	10	20	32
Расход номинальный, $дм^3$/мин	8	20	80	160
Время срабатывания, с	0,02	0,03	0,05–1,5	0,07–3,0
Потери давления, МПа	0,78	0,83		0,78
Утечки, $дм^3$/мин	0,05	0,12	0,2	0,3
Усилие электромагнита, Н	16	25	16	
Масса, кг	3	6	15	28
Примечание. Рабочее давление 20 МПа.				

4.3.3. Дросселирующие распределители

В мехатронных гидравлических системах с программным и адаптивным управлением, в гидросистемах роботов широко используются так называемые *дросселирующие распределители*, обладающие высокой чувствительностью к управляющим воздействиям и способные обеспечивать весьма малые (порядка 0,1 мм и менее) перемещения рабочего органа.

Принцип действия дросселирующего распределителя поясняет рис. 4.14.

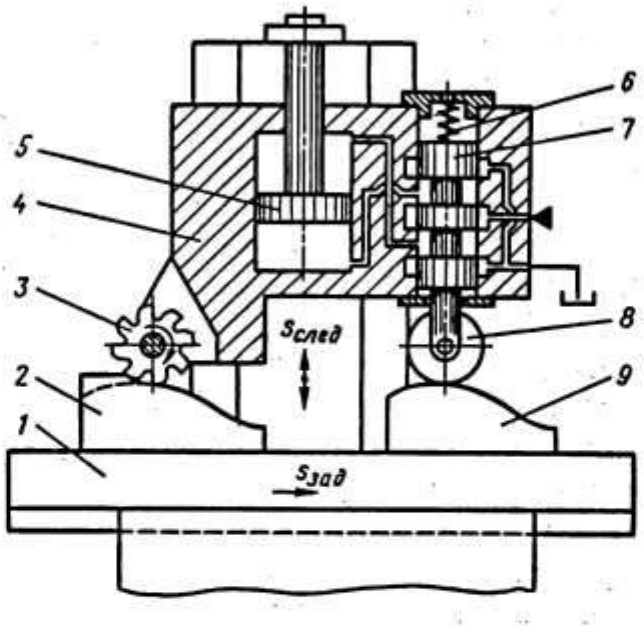


Рис. 4.14. Схема гидравлической копировальной системы фрезерного станка:
1 — стол станка; *2* — деталь; *3* — инструмент (фреза);
4 — каретка; *5* — поршень гидроцилиндра; *6* — пружина;
7 — золотник; *8* — ролик; *9* — копир

Гидравлическая копировальная система фрезерного станка содержит инструмент *3* (фрезу), установленный на каретке *4*, которую перемещает гидроцилиндр с поршнем *5*. Шток поршня неподвижно закреплен на станине станка. Золотник *7* дросселирующего распределителя пружиной *6* прижат через ролик *8* к фасонной поверхности копира *9*. Обрабатываемая деталь *2* и копир *9* закреплены на столе *1* станка, перемещающемся со скоростью задающей подачи $s_{зад}$.

Золотник *7* имеет три пояска с четырьмя рабочими кромками, частично перекрывающими кольцевые канавки в корпусе. Каналами в корпусе средняя кольцевая канавка соединена с напорной линией гидросистемы, две крайние — со сливной линией, а промежуточные полости — с полостями цилиндра. Закон

перемещения золотника определяется профилем копира, а каретка *4*, отслеживая его перемещение, обеспечивает соответствующую подачу инструмента $s_{след}$ с усилием, достаточным для преодоления сил резания.

В положении, показанном на рис. 4.14, золотник своими поясками полностью перекрывает напорную и сливную линии. При перемещении стола *1* вправо золотник опускается, напорная линия соединяется с поршневой полостью цилиндра, а сливная линия — со штоковой полостью. Поскольку сам поршень неподвижен, то перемещается каретка вместе с инструментом, в данном случае — вниз, до тех пор, пока пояски золотника снова не перекроют напорную и сливную линии, т.е. пока каретка не отработает такое же перемещение, что и золотник. В результате инструмент *3* в процессе обработки движется по кривой, точно соответствующей задающей поверхности копира.

Для применения в следящих гидроприводах разработан управляющий золотник Г61-41 (рис. 4.15), встраиваемый в корпус дросселирующего распределителя. Он состоит из золотника *1* и гильзы *2*. Золотник имеет три пояска, а в гильзе выполнены три внутренних кольцевых канавки и пять внешних канавок. Радиальными отверстиями внешние канавки соединены с внутренними канавками и промежуточными полостями *3* и *4*. Каналами в корпусе распределителя средняя внешняя канавка гильзы соединяется с напорной линией, две крайние — со сливной, две промежуточные — с камерами гидродвигателя.

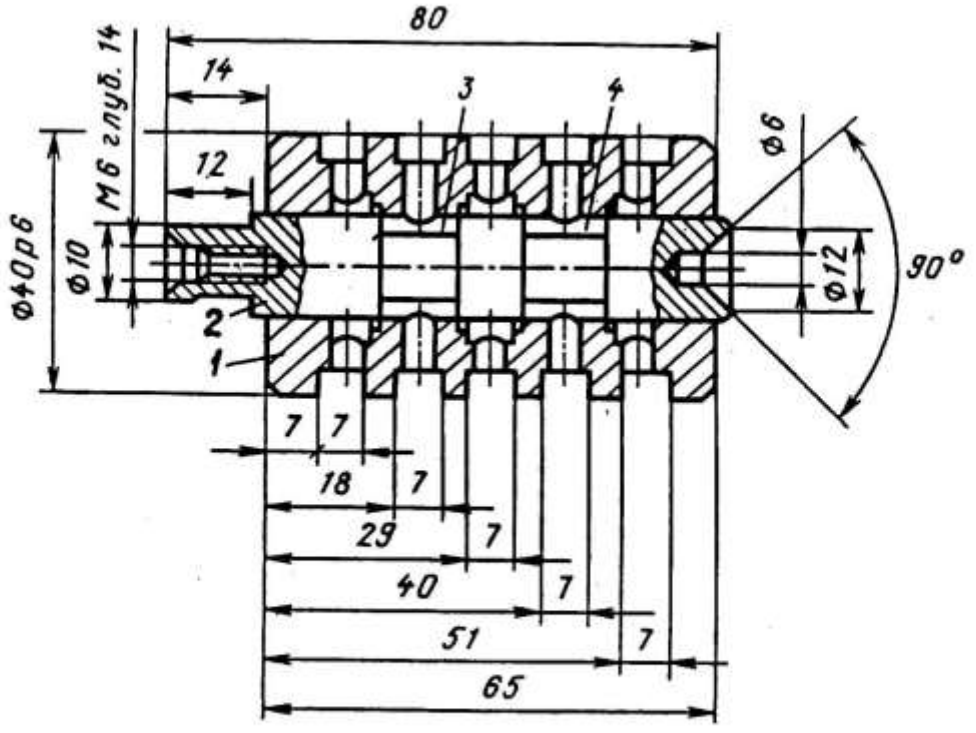


Рис. 4.15. Управляющий золотник Г61-41

Левым концом золотник взаимодействует с пружиной, а правым через промежуточные передаточные звенья — с копиром, толкателем и т.п.

Техническая характеристика управляющего золотника дана в табл. 4.12.

Таблица 4.12

Техническая характеристика управляющего золотника Г61-41

Параметр	Величина
Расход номинальный, $дм^3$/мин	20
Давление максимальное, МПа	6,3
Диаметральный зазор в сопряжении золотник — гильза, мкм	15–20
Наружная утечка по зазорам при подпоре в сливной линии 0,2 МПа, $дм^3$/мин, не более	0,001
Масса, кг	0,45

Широкое распространение в гидросистемах получили электроуправляемые дросселирующие распределители типа Г68-1 (рис. 4.16), предназначенные для изменения величины и направления потока рабочей жидкости с большой гидравлической мощностью в соответствии с управляющими электрическими сигналами малой мощности. Здесь они подробно не рассматриваются. Необходимо лишь отметить следующие их конструктивные особенности.



Рис. 4.16. Внешний вид гидрораспределителя Г68-1

Во-первых, распределители Г68-1 имеют систему промежуточного гидравлического управления, по сути — гидравлический усилитель, через которую электромагнит воздействует на золотник.

Во-вторых, масло, выходящее в сливную линию, пропускается через реактивную турбинку типа «сегнерово колесо», закрепленную на золотнике и заставляющую его непрерывно вращаться с частотой около 300 об/мин. Таким образом исключается сухое трение в паре золотник — гильза.

Основные параметры распределителей Г68-1 приведены в табл. 4.13.

Таблица 4.13

Основные параметры дросселирующих распределителей Г68-1

Параметр	12Г68-11	12Г68-12	12Г68-13
Расход номинальный, $дм^3$/мин	6,3	20	32
Давление рабочее, МПа	6,3		
Максимальная мощность сигнала управления, Вт	0,42	1,0	1,82
Расход в линии управления, $дм^3$/мин	1,2		
Утечки на слив в закрытом положении при рабочем давлении, $дм^3$/мин	2,0		
Габаритные размеры, мм: длина ширина высота	 170 100 205		
Масса, кг	10		

4.4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ГИДРОПРИВОДОВ

4.4.1. Гидроаккумуляторы

Гидроаккумулятором называется устройство, служащее для накопления гидравлической энергии в период пауз в ее потреблении агрегатами гидросистемы. Использование гидроаккумулятора позволяет понизить мощность насоса до усредненной по времени мощности гидродвигателей. В системах с эпизодическим включением гидродвигателей наличие гидроаккумулятора дает возможность обеспечить паузы в работе питающего насоса. Кроме того, в ряде мехатронных систем с гидроприводом высокое давление жидкости в гидродвигателе рабочего органа должно поддерживаться постоянным при отключении двигателя от насоса, что также становится возможным при наличии в системе гидроаккумулятора.

Накопленная в аккумуляторе энергия может быть отдана в очень короткое время, поэтому гидроаккумулятор способен кратковременно развивать высокую мощность. Применение этих агрегатов особенно целесообразно в системах с большими пиками расхода жидкости, величины которых в некоторых случаях во много раз превышают средний расход жидкости.

По способу создания давления различают грузовые, пружинные и пневматические гидроаккумуляторы.

Грузовой аккумулятор представляет собой цилиндр, поршень которого находится под воздействием груза. Давление жидкости определяется весом груза и площадью поршня.

В *пружинном* аккумуляторе давление жидкости создается усилием пружин, действующим, как и вес груза в грузовом аккумуляторе, на поршень цилиндра.

В пневматическом аккумуляторе (*пневмогидроаккумуляторе*) накопление энергии происходит за счет сжатия газа, обычно — воздуха, реже — азота.

Конструкции пневмогидроаккумуляторов следует рассмотреть более подробно.

В соответствии с типом разделителя сред аккумуляторы могут быть поршневыми (рис. 4.17, *а*) и диафрагменными (рис. 4.17, *б*). Более простым по конструкции считается поршневой. Недостатками его являются трение поршня в цилиндре и утечки жидкости в газовую полость. Этих недостатков лишен аккумулятор, роль разделителя в котором выполняет гибкая мембрана, или диафрагма. Поскольку сопротивление деформации диафрагмы незначительно, то диафрагменные аккумуляторы безынерционны и пригодны для применения в качестве гасителей высокочастотных пульсаций расхода.

Грузовые и пружинные гидроаккумуляторы больших объемов изготавливать нецелесообразно: они становятся весьма массивными и крупногабаритными. Наиболее широкое распространение в машиностроении вообще и в гидросистемах мехатронных модулей в частности получили пневмогидроаккумуляторы.

При подаче жидкости из пневмогидроаккумулятора в систему объем сжатого газа в нем увеличивается, соответственно увеличению объема падает давление. Емкость аккумулятора принимается из условия снижения давления в процессе работы гидросистемы не более чем на 25 % максимального значения (иначе говоря, максимальное давление в аккумуляторе должно превышать номинальное давление насоса не более чем в 1,33 раза).

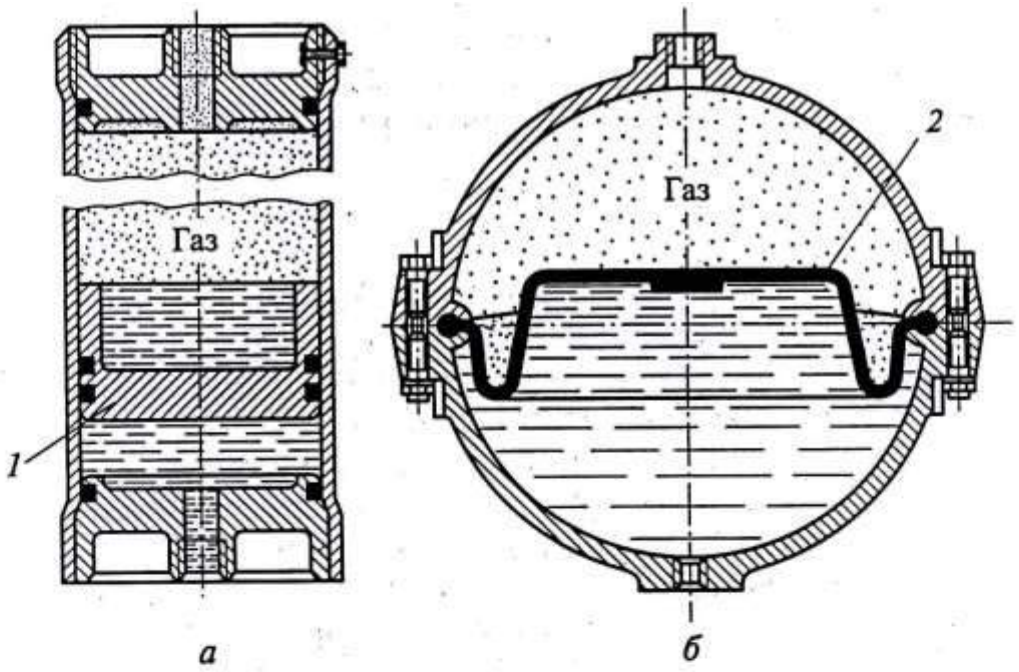


Рис. 4.17. Пневмогидроаккумуляторы:
а — поршневой; *б* — диафрагменный;
1 — поршень; *2* — диафрагма

4.4.2. Резервуары для рабочей жидкости

Резервуар для рабочей жидкости (*маслобак*) является ответственным узлом гидросистемы, так как от правильности его исполнения зависит надежность и долговечность входящих в систему агрегатов.

Выделяющееся во время работы агрегатов тепло рассеивается через стенки маслобака, поэтому его объем оказывает значительное влияние на тепловой режим гидропривода.

Среднее количество теплоты, выделяемое гидроприводом в единицу времени (средняя тепловая мощность), определяют по формуле:

$$P_{\text{тепл}} = (P_{\text{дв}} - P) \cdot \text{ПВ}, \qquad (4.13)$$

где $P_{\text{дв}}$ — мощность на валу приводного электродвигателя насосной установки; P — суммарная полезная мощность одновременно работающих гидродвигателей; ПВ — продолжительность включения гидропривода (отношение времени работы под нагрузкой к общему времени цикла).

В табл. 4.14 даны значения объема бака в зависимости от $P_{\text{тепл}}$.

Таблица 4.14

Зависимость объема маслобака от тепловыделения в гидросистеме

Средняя тепловая мощность, кВт	0,6	1,0	1,4	1,8	2,2	2,6
Объем маслобака V, дм^3	50	130	220	320	420	540
Примечание. Превышение температуры масла в баке над температурой окружающего воздуха не более 35 °С.						

Выбранный объем должен быть округлен до ближайшего из ряда номинальных размеров *Ra*10, если это не противоречит требованиям технического задания на проектируемую мехатронную систему.

Площадь поверхности маслобака, м^2:

$$A = 0,064\sqrt[3]{V^2}, \qquad (4.14)$$

где V — объем, дм^3.

Очевидно, что во многих случаях возникает настоятельная необходимость уменьшения объема маслобака. Это возможно за счет интенсификации теплообмена между маслом и окружающим воздухом следующими способами:

– оребрение стенок бака (что эквивалентно увеличению площади теплоотдающей поверхности A);

– обдув бака струей воздуха от вентилятора;

– оснащение бака холодильником, выполненным, например, в виде помещенного в масло змеевика из тонкостенных трубок, по которым подается охлаждающая среда (обычно воздух или вода).

Для гидросистем мехатронных модулей наиболее приемлема комбинация двух первых способов.

Днище маслобака должно располагаться на высоте не менее 100 мм над полом для обеспечения теплоотдачи через поверхность днища.

Конец вводимой в бак трубы сливной линии необходимо удалить на возможно большее расстояние от начала трубы всасывающей линии, чтобы создать условия для перемешивания выходящего из сливного трубопровода нагретого масла с уже охлажденным. С этой же целью между концом сливной и началом всасывающей труб целесообразно установить в баке перегородку.

Глубина погружения труб в масло должна быть не менее четырех-пяти их диаметров, расстояние от дна — не менее двух диаметров, концы труб выполняются со срезом под 45°. Это позволит предотвратить перемешивание масла с воздухом и с осадком.

В баке рекомендуется иметь смотровые люки размером не менее 200 × 200 мм.

Заливную горловину следует снабдить фильтром с тонкостью фильтрации 40–80 мкм.

Днище бака должно иметь уклон к сливному отверстию.

Маслобак также может быть снабжен указателем уровня масла, термометром и т.п.

4.4.3. Фильтры

Опыт эксплуатации гидросистем показывает, что выполнение всех требований по поддержанию чистоты рабочей жидкости позволяет повысить надежность привода и снизить эксплуатационные расходы в два раза. Главную роль в очистке масла от твердых частиц играют фильтры различных типов.

Фильтры могут осуществлять полнопроточную или пропорциональную очистку масла во всасывающей, напорной или сливной линиях гидросистемы.

При *полнопроточной* очистке через фильтр проходит вся жидкость от насосной установки к силовым гидроагрегатам. *Пропорциональная* очистка подразумевает пропускание через фильтр части рабочей жидкости, т.е. расход фильтруемого масла составляет часть полного расхода насосной установки.

Фильтр, установленный на всасывающей линии, — всасывающий, или приемный фильтр — обеспечивает эффективную защиту насоса от сравнительно крупных частиц, его значение очень велико. К сожалению, приемный фильтр, являясь гидравлическим сопротивлением, ухудшает условия всасывания насоса, поэтому перепад давлений на нем не должен превышать 0,02 МПа. Отсюда следует, что, во-первых, использовать приемные фильтры нельзя в насосных установках с пластинчатыми насосами, чувствительными к сопротивлению на входе; во-вторых, эти фильтры требуют строгого выполнения правил обслуживания.

Фильтр, установленный на сливной линии, называемый сливным, не создает нежелательного сопротивления во всасывающей линии насоса. Применение в гидросистеме только сливного фильтра оправдано в том случае, если система надежно защищена от попадания загрязнений извне. Если такой защиты нет, то необходима комбинация всасывающего и сливного фильтров. Оптимальным считается сочетание приемного фильтра на крупность частиц 80 мкм или 160 мкм со сливным на 10 мкм или 25 мкм.

Для защиты высокочувствительного к загрязнению элемента гидросистемы непосредственно перед ним на напорной линии устанавливают фильтр тонкой очистки (напорный фильтр). Через напорный фильтр проходит жидкость с высоким давлением, поэтому, в отличие от приемного и сливного фильтров, он имеет высокопрочный корпус.

Как свидетельствует практика, фильтр может эффективно защищать только тот элемент гидросистемы, который установлен непосредственно после него, а остальные получают лишь частичную защиту. По этой причине реальные системы содержат различные сочетания фильтров, например всасывающего и сливного, о чем было сказано выше.

При выборе фильтров можно пользоваться следующими рекомендациями по тонкости фильтрации:

– насосы шестеренные на давление до 2,5 МПа; насосы и гидромоторы пластинчатые нерегулируемые на давление до 6,3 МПа — 40 мкм;

– насосы пластинчатые нерегулируемые на давление до 16 МПа; насосы пластинчатые регулируемые на давление до 6,3 МПа; насосы и гидромоторы аксиально-поршневые на давление до 16 МПа; направляющая и регулирующая гидроаппаратура на давление до 20 МПа — 25 мкм;

– электрогидравлические следящие и шаговые модули; дросселирующие гидрораспределители — 10 мкм.

Особой разновидностью фильтров можно считать магнитные очистители (сепараторы, магнитные фильтры), предназначенные для задерживания находящихся в масле магнитных частиц. Включение сепараторов в гидросистемы высокоточных мехатронных модулей весьма желательно.

Активными элементами сепаратора являются постоянные магниты, задерживающие содержащиеся в масле ферромагнитные частицы. Со временем проходное сечение сепаратора уменьшается, тем более что он задерживает также и определенное количество немагнитных частиц. Поэтому сепараторы рекомендуется очищать через каждые 500 ч работы.

4.5. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРОСИСТЕМ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Исходные данные.

Исходные данные для проектирования гидросистемы содержатся в техническом задании на ММ:

1. Формулировка технических требований к гидросистеме.

В число технических требований к гидросистеме входят:

– усилие (крутящий момент) или мощность на рабочем органе;

– линейная (угловая) скорость рабочего органа;

– места расположения основных агрегатов гидросистемы — насосной установки и рабочего органа;

– необходимость регулирования; если регулирование необходимо, то его пределы;

– прочие требования (перепады температуры, условия безопасной эксплуатации, максимальные габариты и т.д.).

2. Предварительный выбор элементов гидросистемы.

На данном этапе проектирования еще не идет речь о конкретных марках входящих в систему силовых гидроагрегатов, аппаратов управления и т.п. Конструктор, анализируя технические требования, устанавливает, какие типы устройств этим требованиям удовлетворяют. Необходимо руководствоваться принципом многовариантности.

Пример 1. Согласно техническому требованию модуль должен обеспечивать поворот рабочего органа на 90°. Требование может быть реализовано: а) с помощью гидроцилиндра, воздействующего на рычаг; б) моментным гидроцилиндром.

Пример 2. Необходимо регулирование скорости рабочего органа. Его можно обеспечить: а) с помощью регулируемого насоса; б) с помощью регулируемого гидродвигателя; в) с помощью дроссельного регулятора.

3. Составление вариантов гидросхемы.

Гидросхема составляется в нескольких вариантах в соответствии с наборами аппаратуры, принятыми на предыдущем этапе. Желательно, чтобы она давала представление о траектории трубопровода (изгибы, наличие гибких рукавов и т.п.), что позволит в дальнейшем оценить его гидравлическое сопротивление.

При составлении гидросхем следует использовать принятые условные обозначения элементов в соответствии с действующими стандартами.

4. Определение основных рабочих параметров и выбор марки гидродвигателя рабочего органа для каждого варианта.

Основными параметрами являются давление и расход рабочей жидкости. Их следует определить из технических требований (этап 1), относящихся к рабочему органу. На данном этапе конструктор снова сталкивается с необходимостью рассматривать различные варианты.

Пример. Техническим требованием задана мощность P на выходном звене рабочего органа. Так как:

$$P = pQ\eta, \tag{4.15}$$

то ее можно реализовать различными сочетаниями p и Q. Если требуются минимальные габариты модуля, то целесообразно повышать давление с одновременным уменьшением расхода. Следует иметь в виду стандартные ряды давле-

ний и расходов. Наиболее часто принимают давления в диапазоне 6,3–25 МПа. Давление менее 6,3 МПа считают низким, более 25 МПа — высоким. В ММ, к которым требование особо малых габаритов не предъявляется, следует принимать средние давления (12,5–20 МПа).

По найденным значениям основных параметров принимают марку гидродвигателя применительно к каждому варианту гидросистемы.

5. Выбор марок гидроаппаратов.

Ориентируясь на сочетания p и Q гидродвигателя рабочего органа, назначают марки аппаратуры управления и регулирования для каждого варианта.

6. Окончательный выбор варианта и уточнение гидросхемы.

Рассматривают варианты гидросхемы с учетом конкретных типов гидродвигателя рабочего органа и гидроаппаратуры и оценивают их по критериям структурной сложности, количества утечек, кинематических погрешностей, трудоемкости обслуживания, надежности, стоимости.

Принимают оптимальный вариант, при необходимости корректируют гидросхему, определяют длины ее участков.

7. Определение диаметров труб и расчет сопротивления трубопровода.

Выбор размера трубы для той или иной линии трубопровода производят с учетом рекомендаций по ограничению скорости потока в зависимости от давления в линии (табл. 4.15).

Таблица 4.15

Скорость потока в трубопроводе в зависимости от давления жидкости

Давление, МПа	2,5	6,3	16	32	63
Скорость, м/с, не более	2	3,2	4	5	6,3

Для сливных линий обычно принимают v = 2 м/с, для всасывающих линий — $v \le 1{,}6$ м/с.

Затем по известному расходу жидкости в линии Q_i и принятой скорости v_i вычисляют внутренний диаметр трубы:

$$d_i = 4{,}6\sqrt{\frac{Q_i}{v_i}}. \qquad (4.16)$$

Размеры труб высокого давления можно принимать по табл. 4.16.

Таблица 4.16

Рекомендуемые размеры труб высокого давления

Номинальный расход, дм³/мин	Диаметр условного прохода, мм	$d_н \times s$, мм	
		стальная труба	медная труба
3,2	3	–	4 × 0,5; 6 × 0,8
12,5	8	12 × 2	8 × 1; 10 × 1
20	10	14 × 2	12 × 1; 14 × 1
50	16	20 × 2,5	18 × 1,5
80	20	25 × 3	22 × 2
200	32	40 × 4	–
Обозначения: $d_н$ — наружный диаметр; s — толщина стенки.			

После назначения диаметров линий трубопровода по формулам п. 4.5.3 находят сопротивление участков и полное сопротивление трубопровода.

8. Определение общего сопротивления сети и суммарных утечек.

Общее сопротивление сети определяется как сумма сопротивлений трубопровода и гидроагрегатов, а утечки в сети — как сумма утечек в гидроагрегатах.

9. Определение давления и производительности насосной установки.

Давление, которое должен обеспечить насос, равно сумме давления гидродвигателя рабочего органа и общего сопротивления сети.

Производительность насосной установки равна расходу в гидродвигателе рабочего органа и суммарных утечек в сети.

Контрольные вопросы

1. Назовите достоинства и недостатки гидравлического привода ММ по сравнению с электрическим.
2. Дайте сравнительную характеристику радиально-поршневых и аксиально-поршневых насосов.
3. Дайте сравнительную характеристику пластинчатых и аксиально-поршневых насосов.
4. Для чего используется предохранительный клапан?
5. Что такое дроссель?
6. Какую функцию выполняют гидрораспределители в гидроприводе?
7. Гидрораспределители какого типа получили самое широкое распространение в гидроприводе ММ?
8. Поясните устройство гидропневмоаккумулятора.

5. ТОРМОЗНЫЕ УСТРОЙСТВА МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

5.1. НАЗНАЧЕНИЕ И РАЗНОВИДНОСТИ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ

Тормозными называют устройства, которыми снабжают ММ для снижения скорости подвижного звена, остановки и удержания (фиксации) его в неподвижном состоянии.

При торможении накопленная в процессе разгона движущихся масс кинетическая энергия переходит в другие обратимые или необратимые виды энергии (потенциальную, тепловую). Тормозные устройства создают дополнительную силу и момент сопротивления, направленные против движения и совершающие отрицательную работу на участке торможения. Кинетическая энергия звеньев ММ частично или полностью преобразуется (поглощается или рассеивается), постепенно снижается скорость движущихся масс по мере их приближения к заданной точке останова, уменьшаются действующие на них динамические нагрузки и удары, что способствует устранению отскоков и колебаний рабочих органов.

В зависимости от природы сил торможения тормозные устройства разделяют на *механические*, *гидравлические*, *пневматические*, *электрические* и *комбинированные*. Механические тормозные устройства подразделяют на пружинные, резиновые, эластомерные, инерционные и фрикционные; гидравлические представляют собой устройства дроссельного регулирования; пневматические могут быть напорными и вакуумными (применяются редко); к электрическим относят электромагнитные, индукционные и гистерезисные, а также порошковые тормозные устройства с сухим и жидким наполнителем фрикционного и дроссельного типов; комбинированные представляют собой комплекс из двух или более типов перечисленных устройств (пневмогидравлические, пружинно-пневматические и т.д.).

Ко всем типам тормозных устройств ММ предъявляются следующие основные требования:

– обеспечение заданного закона торможения;

– безударный останов и фиксация подвижных элементов в точках позиционирования;

– высокая надежность и долговечность;

– высокое быстродействие;

– простота и компактность конструкции;

– стабильность характеристик при изменении условий работы;

– малая чувствительность к изменению температуры, влажности, тормозимой массы, скорости;

– возможность настройки и доступность регулирования;

– удобство осмотра и обслуживания;

– минимальные габариты и масса.

5.2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ТОРМОЗНЫЕ УСТРОЙСТВА

В механических тормозных устройствах силу сопротивления создают деформацией рабочих элементов (*упругие* тормозные устройства) или трением (*фрикционные* тормозные устройства).

В качестве упругих элементов наиболее часто применяют цилиндрические пружины сжатия, реже — растяжения. Распространение получили резиновые и резино-металлические, а также пенополиуретановые упругие элементы.

Основными рабочими элементами фрикционных тормозных устройств являются вращательные или поступательные пары трения.

Простейшее тормозное устройство образуют одна или несколько цилиндрических пружин, установленные либо непосредственно между функциональным звеном и упорами параллельно оси его движения, либо оформленные в виде отдельного конструктивного узла.

Силу сопротивления пружины вычисляют по следующей формуле:

$$F_{\text{пр}} = cx = c\left(x_0 + x_{\text{д}}\right) = F_0 + F_{\text{д}}, \tag{5.1}$$

где x — полная деформация пружины; x_0 — начальная деформация (поджатие) пружины; $x_{\text{д}}$ — дополнительная деформация пружины; F_0 — начальная сила сопротивления пружины; $F_{\text{д}}$ — дополнительная сила сопротивления пружины; c — жесткость, которая для цилиндрической витой пружины равна (Н/мм):

$$c = \frac{F}{x} = \frac{Gd^4}{8nD^3}, \tag{5.2}$$

G — модуль упругости 2-го рода материала пружины (для пружинных сталей $G = (7{,}85–8) \cdot 10^4$ МПа); d — диаметр проволоки пружины, мм; D — средний диаметр витка пружины, мм; n — число рабочих витков пружины.

Останов подвижного звена произойдет при равенстве кинетической энергии подвижного звена и потенциальной энергии упругой деформации пружины:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{cx^2}{2}, \tag{5.3}$$

К достоинствам пружинных устройств следует отнести возможность больших деформаций, сохранение характеристик под воздействием продолжительной статической нагрузки, нечувствительность к значительным перепадам температур. В то же время они обладают такими недостатками, как малое демпфирование, трудности регулирования (настройки) их силовой характеристики, начальное поджатие пружины приводит к возникновению скачка нагрузки на тормозимые массы.

Резиновые тормозные устройства обычно содержат несколько последовательно установленных элементов (рис. 5.1, *а*), состоящих из резиновых втулок *1* и металлических шайб *2*. В зависимости от конструкции тормозных устройств резиновые втулки могут работать на сжатие (рис. 5.1, *а*, *б*) или сдвиг (рис. 5.1, *в*). Втулки, работающие на сжатие, обладают небольшой податливостью, но значительной нагрузочной способностью, втулки сдвига — наоборот, большой податливостью и сравнительно небольшой нагрузочной способностью.

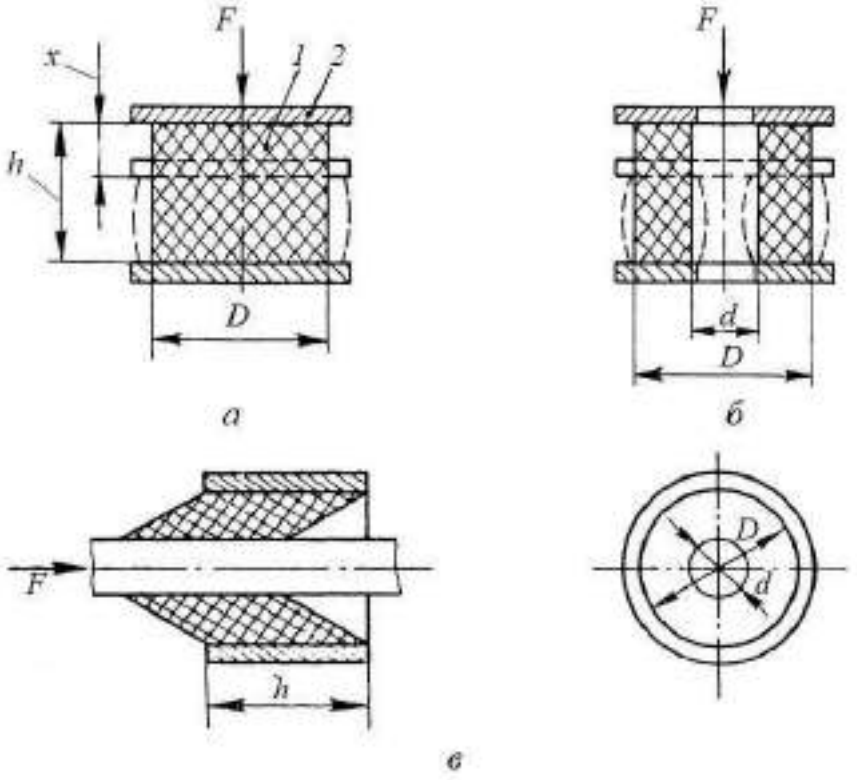


Рис. 5.1. Резиновые тормозные элементы

Резина легко меняет форму при незначительном изменении усилия. В замкнутом объеме она ведет себя как несжимаемая жидкость. Поэтому для резиновых элементов, работающих на сжатие, должна быть предусмотрена возможность их деформации перпендикулярно к оси сжатия.

При одноосном сжатии резинового элемента с постоянным поперечным сечением (рис. 5.1, *а*, *б*) упругая сила сопротивления равна:

$$F = \frac{chx}{h - x}, \tag{5.4}$$

где c — продольная жесткость резины, Н/мм:

$$c = \frac{BEA}{h}, \tag{5.5}$$

E — динамический модуль упругости резины, равный (0,6–1,0) · 10^{-8} МПа; A — площадь поперечного сечения резинового элемента; h — высота недеформированного элемента; x — величина деформации элемента; B — коэффициент ужесточения, равный:

$$B = 1 - f \cdot K_{\phi}, \tag{5.6}$$

f — коэффициент трения между резиной и материалом опоры (f = 0,12–0,15 для несмазанных поверхностей в паре резина — сталь); K_{ϕ} — коэффициент формы (для сплошных цилиндрических резиновых элементов с диаметром D и высотой h коэффициент $K_{\phi} = \frac{D}{4h}$; для резиновых втулок с наружным диаметром D и внутренним диаметром d $K_{\phi} = \frac{D - d}{4h}$).

Условие прочности резиновой втулки при сжатии:

$$\sigma_{сж} = \frac{F}{A} \le [\sigma_{сж}], \tag{5.7}$$

где $[\sigma_{сж}]$ — допускаемое напряжение сжатия, для резины средней твердости $[\sigma_{сж}]$ = (2,5–5,0) МПа.

Для резинового элемента, работающего на сдвиг (рис. 5.1, *в*), упругую силу сопротивления определяют по формуле:

$$F = c'x, \tag{5.8}$$

где c' — коэффициент жесткости резины на сдвиг, Н/мм:

$$c' = \frac{2\pi Gh}{\ln \frac{d}{D}}. \tag{5.9}$$

Условие прочности резиновой втулки, работающей на сдвиг:

$$\tau_{max} = \frac{F}{\pi dh} \le [\tau], \tag{5.10}$$

где $[\tau]$ — допускаемое напряжение сдвига резины при ударной кратковременной нагрузке; для резины средней твердости $[\tau]$ = (1–2) МПа.

Максимальное напряжение сдвига возникает на внутренней поверхности резиновой втулки.

Резино-металлические тормозные устройства обладают высокой надежностью, простотой конструкции и технологичностью изготовления, удобством обслуживания, большой энергоемкостью. К недостаткам следует отнести чувствительность к изменению температуры и влажности, «индивидуальность» технических характеристик (два элемента одинаковых размеров имеют различную жесткость).

Фрикционные тормозные устройства используют как для торможения и позиционирования в промежуточных точках, так и для удержания (фиксации) звеньев.

Главной особенностью фрикционных устройств является то, что они преобразуют значительную часть кинетической энергии в тепловую, которая рассеивается в окружающее пространство. Фрикционные устройства с упругими элементами накапливают небольшое количество потенциальной энергии, обусловливающей силу отдачи, а фрикционные устройства без упругих элементов полностью поглощают подведенную кинетическую энергию.

Конструкции фрикционных тормозных устройств весьма разнообразны. Они могут быть как автономными, так и встроенными в двигатель, управляемыми и неуправляемыми, нормально замкнутыми и разомкнутыми, одно-

и двустороннего действия. Однако независимо от типа и конструкции они содержат одну или несколько фрикционных пар, при относительном движении элементов которых возникает сила трения. Обычно одно из звеньев фрикционной пары удерживают или укрепляют неподвижно относительно корпуса или другого узла, по отношению к которому осуществляется торможение.

Упруго-фрикционное тормозное устройство с цилиндрической пружиной и разрезной конической втулкой изображено на рис. 5.2. При перемещении штока *6* с коническим буртиком сегменты *5* скользят по внутренней цилиндрической поверхности корпуса *2*, прижимаясь к ней с возрастающей силой вследствие сжатия пружины *3*, расположенной между конической втулкой *4* и винтовой регулировочной втулкой *1*.

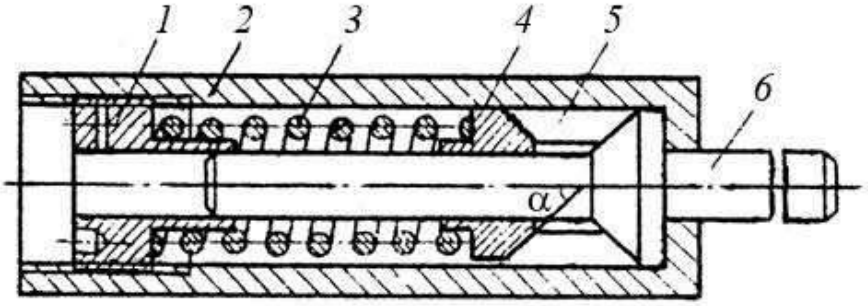


Рис. 5.2. Упруго-фрикционное тормозное устройство

Сила сопротивления перемещению стержня равна:

$$F_{\text{сопр}} = F_{\text{пр}} + F_{\text{с.т}}, \tag{5.11}$$

где $F_{\text{пр}}$ — сила упругости пружины (формула (5.1)); $F_{\text{с.т}}$ — сила сухого трения между сегментами и корпусом:

$$F_{\text{с.т}} = F_N f = \frac{2F_{\text{пр}} f\left(1 - f_1 \text{tg}\alpha\right)}{f_1 + \text{tg}\alpha}, \tag{5.12}$$

F_N — сила нормального давления между сегментами и корпусом; f — коэффициент трения скольжения между цилиндрическими поверхностями сегментов и корпуса (табл. 5.1); f_1 — коэффициент трения скольжения между коническими поверхностями штока *6*, втулки *4* и сегментов *5* (табл. 5.1); α — угол между образующей корпуса и осью штока.

Таблица 5.1

Допускаемое давление и коэффициент трения

Материалы фрикционных пар	Конусный тормоз		Дисковый тормоз	
	[q], МПа	f (fi)	[q], МПа	f (fi)
Закаленная сталь	–	–	2–4	0.1
Сталь — чугун	3–4	0,15	2–3	0,15
Сталь — бронза	5–6	0,05	4–5	0.05
Сталь — ферродо	1–2	0.3	2–2.5	0.3
Сталь — текстолит	4–5	0,2	5–6	0,2

После снятия нагрузки обратный ход штока происходит под действием силы упругости пружины.

Фрикционный конусный тормоз (рис. 5.3) состоит из вращающегося конуса *1* с рабочим звеном, поступательно движущегося конуса *2* и пружины *3*. Усилие пружины, необходимое для останова подвижного звена, находят по формуле:

$$F_{пр} = cx = \frac{2KT\sin\alpha}{D_{ср}f}, \qquad (5.13)$$

где K = 1,25–1,5 — коэффициент, учитывающий эксплуатационные условия; T — вращающий момент на конусе *1*; f — коэффициент трения скольжения материалов конусов (табл. 5.1); α — угол наклона образующей конуса, во избежание заклинивания конусов его принимают из условия $\alpha > 12°–15°$

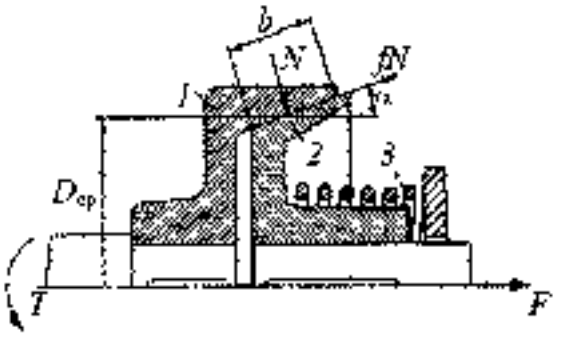


Рис. 5.3. Схема фрикционного конусного тормоза

Из условия износостойкости:

$$q = \frac{2KT}{\pi D_{ср}^3 f\psi} \le [q] \tag{5.14}$$

находят средний диаметр поверхности трения:

$$D_{ср} \ge \sqrt[3]{\frac{2KT}{\pi[q]f\psi}}, \tag{5.15}$$

где q — давление между конусами; $[q]$ — допускаемое давление между конусами (табл. 5.1); ψ — коэффициент рабочей ширины дисков ($\psi = b/D$ = = 0,15–0,25).

Ширину поверхности трения находят по формуле:

$$b = \frac{2KT}{\pi D_{ср}^2 f[q]}. \tag{5.16}$$

С другой стороны:

$$D_{ср} = \frac{D_1 + D_2}{2}, \tag{5.17}$$

где D_1 и D_2 — наименьший и наибольший диаметры поверхности трения соответственно:

$$D_1 = D_{ср} - b\sin\alpha; \tag{5.18}$$

$$D_2 = D_{ср} + b\sin\alpha. \tag{5.19}$$

Для растормаживания необходимо приложить усилие $F > F_{пр}$.

В дисковом фрикционном тормозе (рис. 5.4) диски *1* соединены с помощью шлицевого соединения с полумуфтой *2*, а тормозные диски *3* — с полумуфтой *4*. Зазор между дисками *1* и *3* рекомендуют принимать δ = 0,3–0,5 мм. Диски имеют осевую подвижность. Под действием пружины *5* они смещаются и приходят в соприкосновение друг с другом, образуя фрикционные пары.

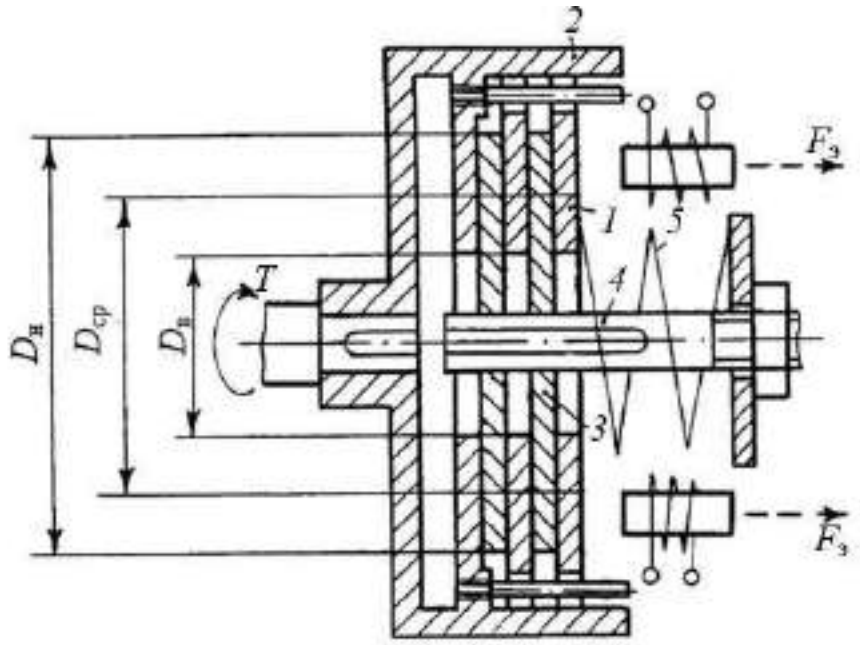


Рис. 5.4. Схема дискового фрикционного тормоза

Число фрикционных пар, необходимое для затормаживания подвижного звена, нагруженного вращающим моментом T, находят так же, как в конусном тормозе, из условия износостойкости:

$$q = \frac{2KT}{\pi D_{ср}^3 f \psi Z} \le [q], \tag{5.20}$$

откуда:

$$Z \ge \frac{2KT}{\pi D_{ср}^3 f \psi [q]}, \tag{5.21}$$

где q — давление на трущихся поверхностях; $D_{ср}$ — средний диаметр контактирующих поверхностей:

$$D_{ср} = \frac{D_н + D_в}{2} = \frac{D_в}{1-\psi}, \tag{5.22}$$

$D_н$ — наружный диаметр кольца контакта дисков:

$$D_н = D_{ср}(1+\psi) = (3...5)d, \tag{5.23}$$

d — диаметр вала подвижного звена; $D_{в} = (0{,}5 \ldots 0{,}6) D_{н}$ — внутренний диаметр контактирующих поверхностей; ψ — коэффициент рабочей ширины дисков:

$$\psi = \frac{D_{ср} - D_{в}}{D_{ср}} = \frac{b}{D_{ср}}, \tag{5.24}$$

принимают $\psi = 0{,}33$–$0{,}11$ (чаще всего $\psi = 0{,}25$); b — рабочая ширина дисков:

$$b = \frac{D_{н} - D_{в}}{2} = \psi D_{ср}; \tag{5.25}$$

$[q]$ и f — см. табл. 5.1.

Число дисков в ведомой части тормоза:

$$Z_{вм} = \frac{Z}{2} + 1, \tag{5.26}$$

в ведущей части:

$$Z_{вщ} = \frac{Z}{2}. \tag{5.27}$$

Полученные Z, $Z_{вм}$, $Z_{вщ}$ округляют до целых чисел.

Необходимая сила пружины при числе Z фрикционных пар:

$$F_{пр} = cx = \frac{3KT}{Zf} \cdot \frac{D_{н}^2 - D_{в}^2}{D_{н}^3 - D_{в}^3}. \tag{5.28}$$

Растормаживание (размыкание) осуществляют с помощью n электромагнитов, суммарное усилие которых должно быть больше силы пружины, т.е. $nF_{э} > F_{пр}$ ($F_{э}$ — усилие одного электромагнита).

В фрикционных тормозных устройствах нестабильность силы трения и изменение условий работы (скорости движения, величины движущихся масс) по сравнению с номинальными приводят к отклонению реального закона торможения от заданного, на который рассчитывалось тормозное устройство. Рас-

хождение может оказаться значительным, если условия и режим работы меняются непрерывно. Поэтому устройства этого типа целесообразно использовать в ММ с достаточно стабильными режимами работы.

Для создания тормозных устройств с программируемыми точками останова и регулирования скорости движения выходного звена (поршня или цилиндра) (*позиционеров*) используют встроенные в двигатель фрикционные механизмы. Они могут быть встроены в поршень или цилиндр и взаимодействовать с цилиндром, штоком или другими движущимися вместе с ними деталями.

Для осуществления программного останова выходного звена позиционера применяют управляемые фрикционные устройства, снабженные собственным приводом, который по команде системы управления замыкает или размыкает тормоз.

В пневмопозиционере (рис. 5.5) фрикционный тормоз является нормально замкнутым. В процессе позиционирования обе полости пневмоцилиндра соединены с атмосферой и пружины *1* прижимают плунжеры *2* с фрикционными накладками *3* к внутренней поверхности цилиндра. При подаче сжатого воздуха, например, в правую полость цилиндра шариковый клапан *5*, предотвращая перетечку воздуха в левую полость, открывает ему доступ в кольцевой канал *4*, соединяющий полости плунжеров *2*, которые сжимают пружины и растормаживают поршень.

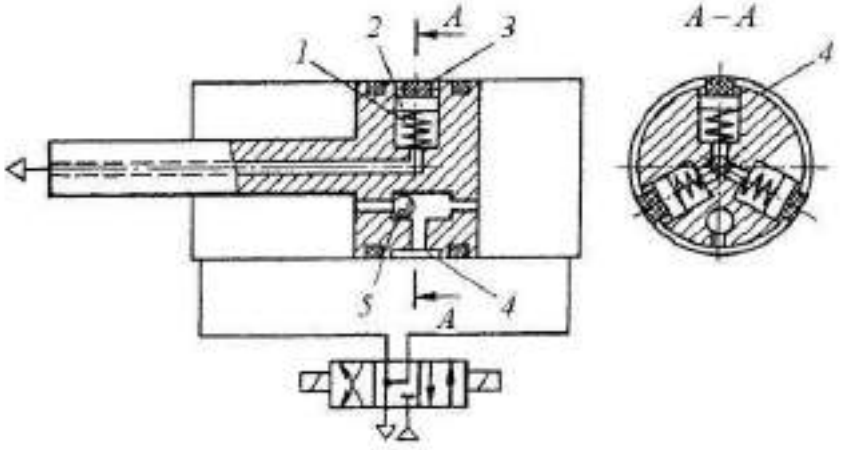


Рис. 5.5. Схема пневмопозиционера

Под действием давления воздуха в правой полости поршень перемещается влево. Для его остановки обе полости пневмоцилиндра соединяют с атмосферой. При этом давление в полости плунжеров и в обеих полостях пневмоцилиндра падает, фрикционные накладки прижимаются к поверхности цилиндра пружинами, тормозят и останавливают поршень.

5.3. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ТОРМОЗНЫЕ УСТРОЙСТВА

Для торможения подвижных звеньев используют управляемые электромагнитные тормозные устройства, в которых источником создания тормозящего момента или усилия является электромагнитное поле, воздействующее прямо на движущиеся элементы (электромагнитные, индукционные и гистерезисные тормоза) или косвенно через порошкообразный сухой или жидкий наполнитель (электромагнитные порошковые тормоза и тормоза с ферромагнитными жидкостями).

По принципу действия и устройству электромагнитные тормозные устройства *индукционного* и *гистерезисного* типов аналогичны электрическим двигателям, в которых ротор или статор неподвижен. Взаимодействие между подвижной и неподвижной частями тормоза осуществляется через электромагнитное поле, создаваемое катушкой управления (возбуждения).

По принципу действия электромагнитные тормозные устройства с порошковым и жидким наполнителями аналогичны соответственно фрикционным тормозам и гидравлическим тормозным устройствам дроссельного регулирования.

Действие электромагнитного порошкового тормоза фрикционного типа основано на свойстве сухого или взвешенного в масле ферромагнитного порошка увеличивать в магнитном поле свою вязкость и прочно прилипать к поверхности магнитной системы.

При относительном сдвиге рабочих поверхностей тормоза возникает сопротивление от трения намагниченных частиц порошка между собой. Наибольший сдвиг испытывают частицы, находящиеся в середине слоя. Сдвиг частиц относительно поверхностей, к которым они прилипают, отсутствует, следовательно, рабочие поверхности не изнашиваются. При отсутствии магнитного поля сопротивление сдвига порошка и взвеси падает, и элементы тормоза оказываются практически несвязанными друг с другом.

Взвесь ферромагнитного порошка в кремнийорганическом или минеральном масле меняет свою вязкость в магнитном поле, благодаря чему при ее дросселировании достигается эффект переменного гидравлического сопротивления.

Рассмотрим устройство и принцип действия электромагнитного порошкового тормоза (рис. 5.6). Его корпус *1*, сердечник *2* и крышка *4* выполнены из стали. Тонкостенный малоинерционный стальной цилиндрический ротор *9* укреплен на выходном валу, установленном в подшипниках *6*.

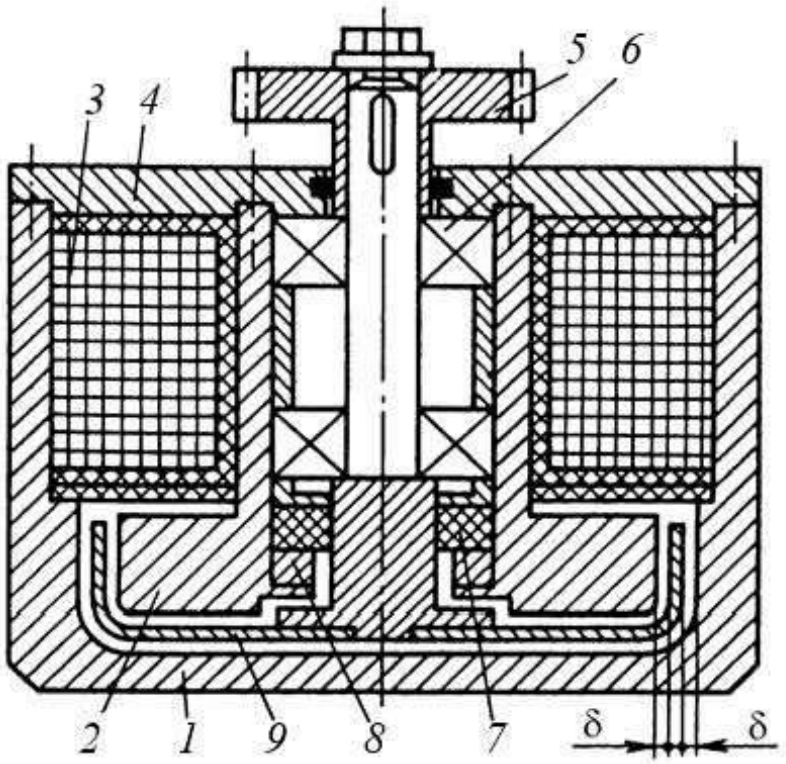


Рис. 5.6. Электромагнитный порошковый тормоз

На сердечнике намотана обмотка возбуждения *3*. Полость, образованная корпусом и сердечником, в которой расположен ротор, заполнена ферромагнитным порошком. Уплотнение подшипников от проникновения порошка состоит из пропитанного кремнийорганической жидкостью фетрового кольца *7* и постоянного кольцевого магнита *8*. Связь тормоза с подвижными элементами ММ осуществляют при помощи шестерни *5*.

Под действием электромагнитного поля, создаваемого катушкой управления, расположенный в зазорах порошок группируется и уплотняется. При сдвиге поверхностей ротора относительно стенок корпуса возникает сопротивление, обусловленное трением намагниченных частиц порошка. Удельное усилие сдвига, определяющее тормозной момент, зависит от магнитной индукции в рабочем зазоре, состава порошка и ряда конструктивных параметров тормоза. Развиваемый тормозной момент практически прямо пропорционален току управления и слабо зависит от скорости скольжения. Тормоз с наружным диаметром 100 мм способен развить тормозной момент до 20 Н·м при предельных окружных скоростях 10–15 м/с. Остаточный момент при отсутствии тока управления составляет не более 0,5 % номинального момента.

На рис. 5.7 показан электромагнитный порошковый тормоз *ELEFLEX series* на тормозной момент 2–5 Н·м.



Рис. 5.7. Электромагнитный порошковый тормоз *ELEFLEX series*

Электромагнитное тормозное устройство *дроссельного типа с ферромагнитной жидкостью* (рис. 5.8) состоит из гидроцилиндра *2*, поршня *7* с катушкой возбуждения *6* и штоком *1*, возвратной пружины *9*, плавающего поршня *4*, поджатого пружиной *3*. Рабочая *8* и компенсационная *5* полости заполнены ферромагнитной жидкостью. Цилиндр, поршень и шток выполнены из магнитного материала. Обмотки возбуждения проложены в пазах на поршне и соединены последовательно.

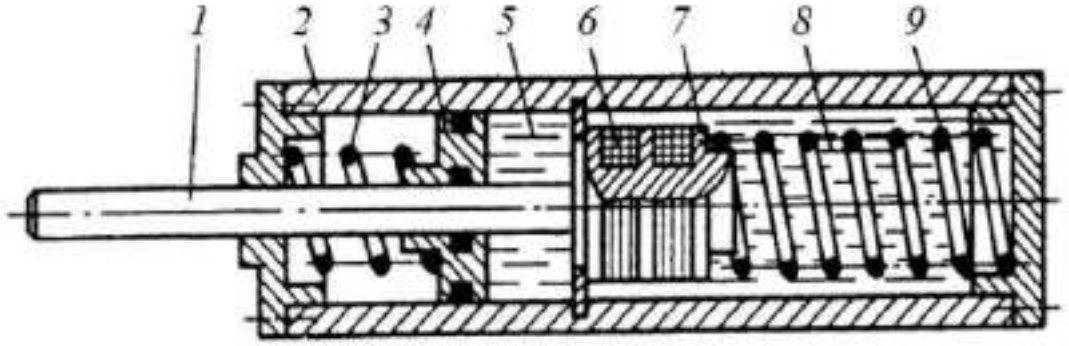


Рис. 5.8. Тормозное устройство дроссельного типа
с ферромагнитной жидкостью

При движении поршня жидкость перетекает из одной полости в другую через узкий кольцевой канал между внутренней цилиндрической поверхностью цилиндра и поршнем. При отсутствии тока управления гидравлическое сопротивление канала, зависящее от его геометрических размеров и от вязкости

намагниченной жидкости, определяет величину тормозного усилия и скорость поршня. Управление тормозным устройством сводится к изменению вязкости, а следовательно, и гидравлического сопротивления путем создания в кольцевом канале радиального магнитного поля заданной напряженности. Поле возникает под действием тока управления в обмотке возбуждения и концентрируется в зазоре магнитопровода, т.е. между поршнем и цилиндром.

Устройство может быть выполнено двусторонним, для чего следует снабдить поршень вторым штоком и удалить возвратную пружину.

Контрольные вопросы

1. Перечислите разновидности тормозных устройств.
2. Какие требования предъявляются к тормозным устройствам ММ?
3. Назовите достоинства и недостатки упругих тормозных устройств.
4. Как устроен фрикционный конусный тормоз?
5. Из каких элементов состоит фрикционный дисковый тормоз?
6. Какую задачу в ММ решает позиционер?
7. Как устроен электромагнитный порошковый тормоз?
8. Поясните принцип работы тормозного устройства дроссельного типа с ферромагнитной жидкостью.

6. НАПРАВЛЯЮЩИЕ

6.1. НАЗНАЧЕНИЕ И РАЗНОВИДНОСТИ НАПРАВЛЯЮЩИХ

Направляющими называют устройства, обеспечивающие заданное относительное движение элементов механизма.

В ММ в основном применяют направляющие для поступательного движения. Их используют тогда, когда необходимо осуществить перемещение одной детали относительно другой с заданной точностью. К направляющим предъявляют следующие требования:

- обеспечение плавности перемещения;
- незначительность сил трения;
- большой ресурс работы;
- износостойкость;
- работоспособность при резких перепадах температуры.

В зависимости от вида трения различают направляющие с трением скольжения и качения. Выбор типа направляющих и конструктивных схем зависит от таких факторов, как их назначение, требования к точности перемещения, допускаемая нагрузка, величины сил трения, стоимость изготовления, сложность монтажа, необходимость обслуживания.

Направляющие с трением скольжения и качения по характеру (виду) воспринимаемой нагрузки подразделяют на открытые и закрытые. К открытым относят направляющие, у которых для замыкания силовой цепи используют дополнительные прижимные усилия (масса подвижной детали, усилие плоской или спиральной пружины, мембраны). Закрытыми являются направляющие, у которых замыкание силовой цепи обеспечивается конструктивными факторами.

Направляющие в зависимости от формы исполнения рабочих поверхностей делят на цилиндрические, призматические, Н-, П-, Т-образные, в том числе призматические направляющие типа «ласточкин хвост».

6.2. НАПРАВЛЯЮЩИЕ С ТРЕНИЕМ СКОЛЬЖЕНИЯ

По конструктивному исполнению направляющие с трением скольжения проще направляющих с трением качения и меньше их по габаритным размерам. При соответствующем выборе материалов они не подвержены значительному влиянию температурных перепадов. Основной их недостаток — относительно большие потери на трение.

Пары скольжения образуют стали марок 40, 50, У8А с чугунами марок СЧ12, СЧ15, бронзами БрОС10-2, БрОФ10-1, БрОЦС, латунями. Предпочтительны следующие сочетания материалов: сталь — бронза, сталь — латунь, сталь — чугун. Если ММ работает при резких перепадах температуры, то для сопряжения деталей направляющих рекомендуют выбирать материалы с близкими значениями теплового коэффициента линейного расширения (см. табл. 6.1).

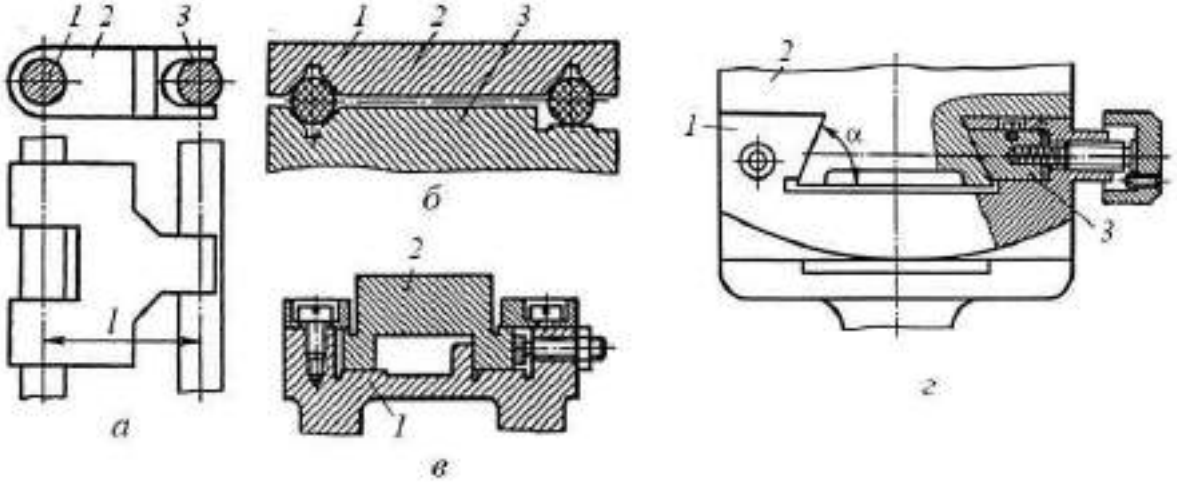


Рис. 6.1. Направляющие скольжения

Конструктивные схемы закрытых направляющих скольжения приведены на рис. 6.1, *а*, *в*, *г*, а также на рис. 6.2, *а–г*.

В схеме на рис. 6.1, *а* по цилиндрическим направляющим *1* и *3* перемещается ползун *2* с цилиндрической и плоской рабочими поверхностями; по прямоугольным призматическим направляющим *1* (рис. 6.1, *в*) перемещается П-образная призма *2*; по призматическим направляющим *1* типа «ласточкин хвост» с углом профиля α (обычно $\alpha = 60°$) перемещается призма *2*. Призматические направляющие типа «ласточкин хвост» требуют тщательной сборки и регулировки, так как незначительный перекос деталей может привести к заеданию направляющих.

Схема направляющей открытого типа показана на рис. 6.1, *б*: по цилиндрическим стержням *1*, закрепленным на неподвижном основании 3, перемещается каретка *2* с призматическими рабочими поверхностями.

Цилиндрические направляющие *1* (рис. 6.2, *а*) изготавливают без устройства для предотвращения осевого проворачивания и с таковым устройством в виде планки *2* (рис. 6.2, *б*, *в*) или штифта 2 (рис. 6.2, *г*) с головкой, входящей в паз корпуса.

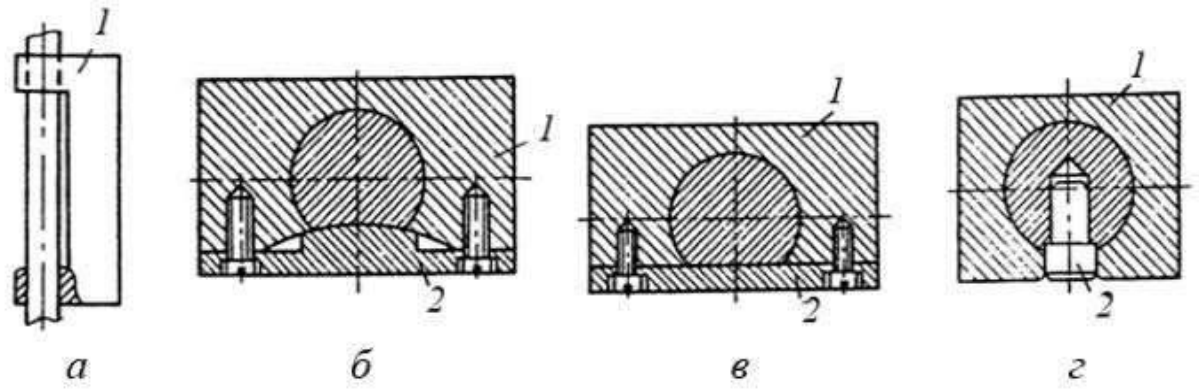


Рис. 6.2. Варианты исполнения закрытых направляющих скольжения

В призматических направляющих применяют призмы *1* с трапециевидным (рис. 6.3, *а*), прямоугольным или треугольным сечением. Регулировку зазоров в направляющих проводят с помощью планок или *сухариков*. На схеме (рис. 6.3, *б*) сдвиг направляющих в боковом направлении устраняют с помощью выступа *1* и планки *2*, а вертикальное перемещение — с помощью двух планок *3*.

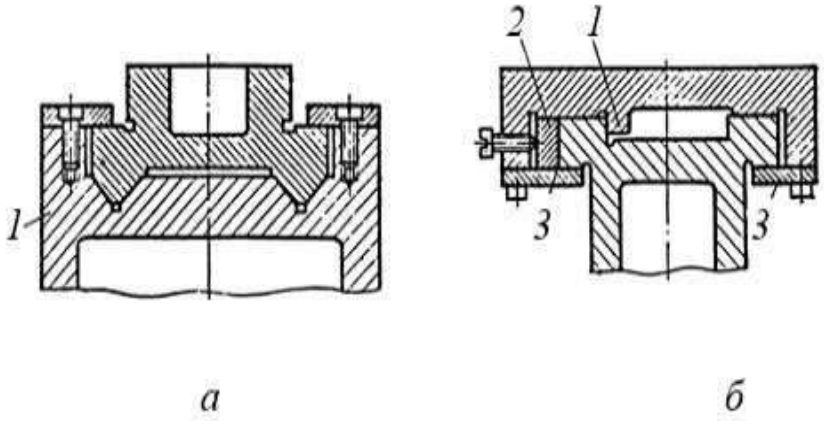


Рис. 6.3. Призматические направляющие скольжения

В направляющих, изображенных на рис. 6.1, *г*, регулировку зазора проводят с помощью сухариков *3*.

Для проверки правильности выбора посадки и класса точности сопрягаемых деталей направляющих проводят проверочный расчет по формуле:

$$\Delta = D_1[1 \pm \alpha_1(t - t_0)] - D_2[1 \pm \alpha_2(t - t_0)], \qquad (6.1)$$

где Δ — минимальный зазор при данной температуре, мм; D_1 — наименьший при данном допуске диаметр (или линейный размер) охватывающей детали,

мм; D_2 — наибольший при данном допуске диаметр (или линейный размер) охватываемой детали, мм; t_0 и t — соответственно начальная и конечная температура направляющих, °С; α_1 и α_2 — коэффициенты линейного расширения материалов сопрягаемых деталей (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Коэффициент α линейного расширения

Материал	Коэффициент $\alpha \times 10^{-6}$
Сталь: углеродистая легированная	 11,5–12 20
Хром	9
Чугун	10,4
Бронза	17–18
Латунь	18,5–19,8
Медь	17
Серебро	19–19,7
Оргстекло	13

Знак плюс берут в том случае, когда $t > t_0$, знак минус — при $t < t_0$. Посадка считается допустимой, если $\Delta \geq 0$. В случае заклинивания ($\Delta < 0$) следует назначить более свободную посадку или применять материалы, имеющие одинаковые или мало различающиеся между собой температурные коэффициенты линейного расширения. В отдельных случаях можно уменьшить ширину или диаметр направляющих, но при этом должны соблюдаться требования жесткости и износостойкости конструкции.

Для предупреждения возможности заклинивания и уменьшения потерь на трение в направляющей необходимо, чтобы равнодействующая Q всех сил сопротивления (кроме сил трения) и движущая сила F (рис. 6.4) действовали по линии направления перемещения в плоскости направляющих и длина l направляющей превышала ширину H ползуна в два-три раза.

При конструировании направляющих возможно появление перекоса, который зависит от длины L между направляющими и плеча h приложения движущей силы F и ее направления, что приводит к заклиниванию (рис. 6.5, *а*). Ес-

ли сила F приложена к ползуну на плече h параллельно направлению перемещения, то она создает момент $M = Fh$, уравновешиваемый моментом пары сил, образованных реакциями F_r в опорах.

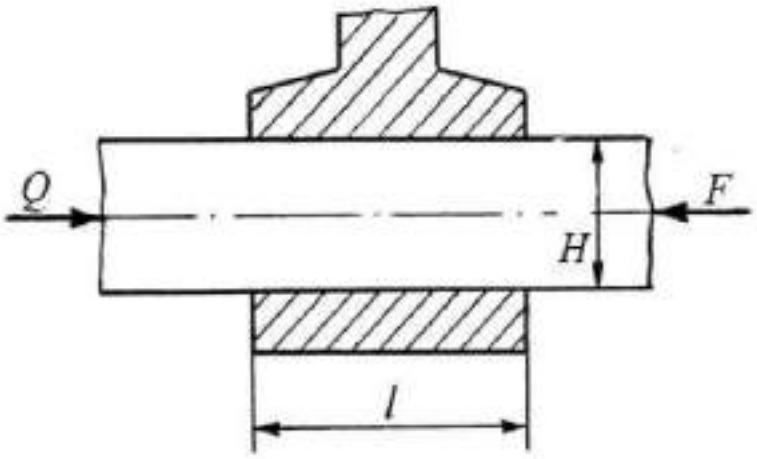


Рис. 6.4. Соотношение длины направляющей и ширины ползуна

Уравнение равновесия ползуна имеет следующий вид:

$$Fh = F_r \cdot L, \tag{6.2}$$

откуда реакции в опорах:

$$F_r = \frac{Fh}{L}. \tag{6.3}$$

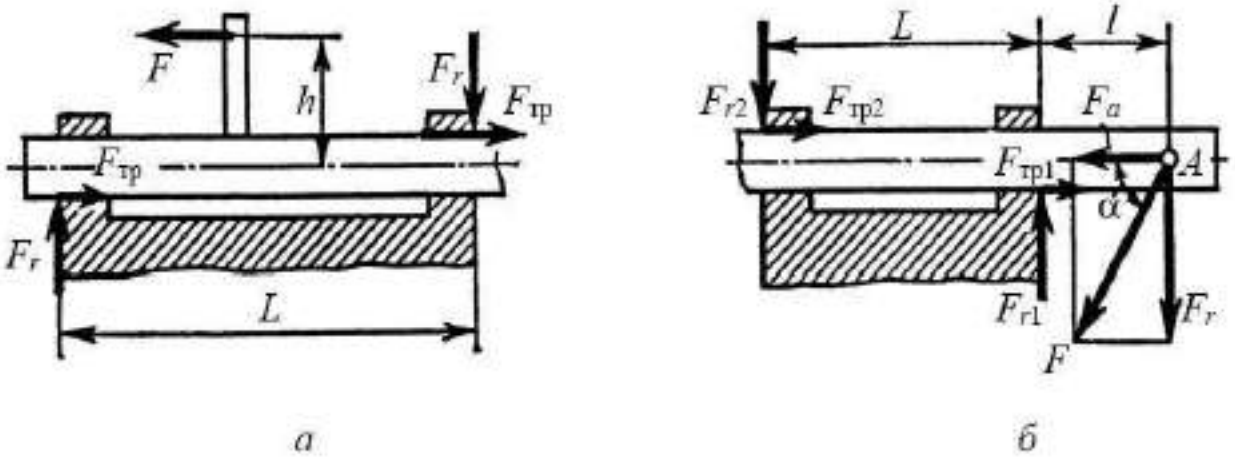


Рис. 6.5. Реакции со стороны направляющей на ползун

Полная сила трения:

$$F_т = 2F_{тр} = 2F_r \cdot f = \frac{2Fhf}{L}, \tag{6.4}$$

где $F_{тр}$ — сила трения в одной направляющей; f — коэффициент трения скольжения.

Заклинивания не будет при условии $F_т \le F$, т.е. $hf/L \le 0{,}5$.

Для обеспечения плавности хода, малого износа рабочих поверхностей и отсутствия заклинивания необходимо выполнять следующие рекомендации:

– для плоских направляющих прямоугольной формы:

$$\frac{hf}{L} < 0,25; \tag{6.5}$$

– для направляющих типа «ласточкин хвост» при угле профиля α:

$$\frac{hf}{L\sin\alpha} < 0{,}25; \tag{6.6}$$

– для направляющих цилиндрической формы:

$$\frac{hf}{L} < 0,2. \tag{6.7}$$

Движущая сила, найденная из условия:

$$F \ge Q + F_т = Q + \frac{2Fhf}{L}, \tag{6.8}$$

определится по выражению:

$$F \ge \frac{Q}{1-\frac{2hf}{L}}, \tag{6.9}$$

где Q — сила полезного сопротивления.

При приложении силы F под углом α к направлению перемещения (рис. 6.5, *б*) реактивные силы найдем из уравнений статики:

$$F_{r1} = \frac{F(L+l)\sin\alpha}{L}; \tag{6.10}$$

$$F_{r2} = \frac{Fl\sin\alpha}{L}. \tag{6.11}$$

Полная сила трения равна:

$$F_{т} = F_{тр1} + F_{тр2} = (F_{r1} + F_{r2})f. \tag{6.12}$$

Заклинивание будет отсутствовать при условии:

$$F_{т} \le F\cos\alpha, \tag{6.13}$$

или:

$$\frac{F\sin\alpha}{L} f(L+2l) \le F\cos\alpha, \tag{6.14}$$

откуда:

$$\mathrm{tg}\alpha \le \frac{L}{(L+2l)f}. \tag{6.15}$$

Окончательно условие отсутствия силового заклинивания направляющих выглядит следующим образом:

$$\frac{l}{L} \le \frac{1 - f\mathrm{tg}\alpha}{2f\mathrm{tg}\alpha}. \tag{6.16}$$

Из условий отсутствия заклинивания следует, что для уменьшения длины L направляющей необходимо коэффициент f трения скольжения уменьшить. Этого можно достичь подбором материалов пары и соответствующей обработкой трущихся поверхностей.

Движущая сила из условия отсутствия заклинивания:

$$F \geq \frac{Q}{\cos\alpha - \dfrac{(L+2l) f \sin\alpha}{L}}. \qquad (6.17)$$

Рабочие поверхности направляющих проверяют на ограничение давления:

$$p = \frac{F_r}{A} \leq [p], \qquad (6.18)$$

где F_r — нормальная сила в точке соприкосновения трущихся поверхностей, Н; A — площадь соприкосновения, мм^2; $[p]$ — допускаемое давление, при скоростях относительного перемещения до 1 м/с $[p]$ = 3–4 МПа.

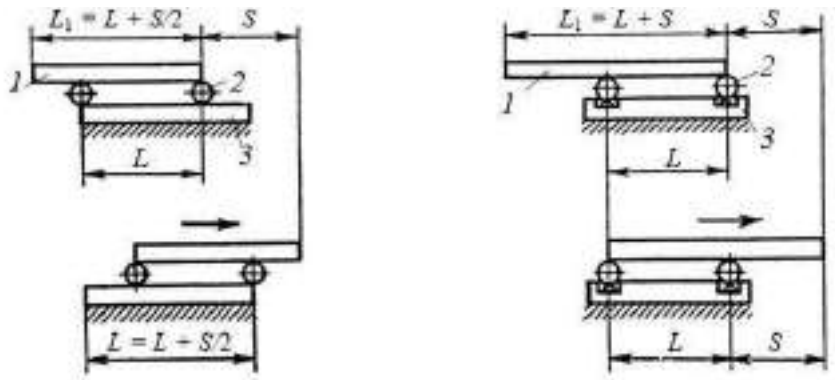
6.3. НАПРАВЛЯЮЩИЕ С ТРЕНИЕМ КАЧЕНИЯ

Направляющие с трением качения применяют в тех случаях, когда требуется обеспечить перемещение с минимальными силами сопротивления и высокой скоростью. По сравнению с направляющими скольжения они имеют меньшие потери на трение, долговечны, менее чувствительны к перепадам температуры.

Направляющие с трением качения изготовляют из закаленных сталей марок ШХ15, 40Х, У8А, У10А, ХВГ, 38ХМЮА.

По виду тел качения различают шариковые и роликовые направляющие. Для удержания тел качения на определенном расстоянии друг от друга применяют сепараторы, изготовленные из латуни или текстолита. Иногда применяют стандартные шариковые или роликовые подшипники.

В зависимости от способа установки шариков или роликов различают направляющие с перекатывающимися и вращающимися вокруг своих осей телами качения. В направляющих с перекатывающимися шариками (рис. 6.6, *а*) при перемещении каретки *1* шарики *2* перекатываются по основанию *3*, оси тел качения перемещаются как относительно каретки, так и относительно основания. В направляющих с вращающимися шариками (рис. 6.6, *б*) тела качения *2* закреплены на осях и при перемещении каретки *1* вращаются в своих гнездах, а оси их остаются неподвижными относительно каретки и основания *3*.



а *б*

Рис. 6.6. Направляющие с перекатывающимися (*а*) и вращающимися (*б*) телами качения

Анализ направляющих с перекатывающимися и вращающимися шариками показывает, что теоретическая длина L_1 каретки и основания в случае применения перекатывающихся шариков равна:

$$L_1 = L + \frac{S}{2}, \tag{6.19}$$

где L — расстояние между центрами шариков, S — ход каретки; в случае вращающихся шариков:

$$L_1 = L + S. \tag{6.20}$$

Следовательно, при проектировании ММ с большими перемещениями подвижных звеньев более целесообразна конструкция, в которой тела качения перемещаются вместе с подвижной кареткой, что позволяет уменьшить ее длину. В то же время при установке шариков во вращающихся гнездах исключается влияние погрешности формы поверхности основания. Поэтому такие направляющие при прочих равных условиях обеспечивают более высокую точность перемещения каретки.

Для определения сопротивления движению каретки *1* необходимо выяснить, каким коэффициентом трения покоя должны обладать шарик *2* и направляющая *3* для того, чтобы между ними не было проскальзывания.

Условие равновесия шарика (рис. 6.7):

$$F_{\text{т}} \cdot d_{\text{ш}} = R \cdot 2 f_{\text{к}}, \tag{6.21}$$

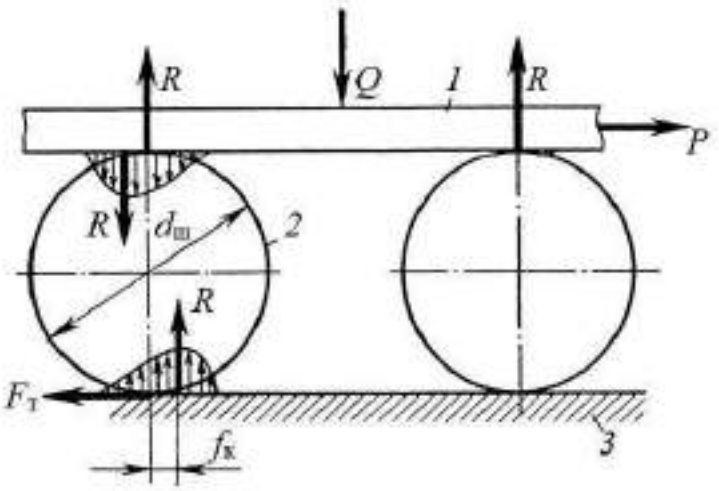


Рис. 6.7. Силы, действующие на тело качения

Поскольку сила трения $F_т = f_0 \cdot R$, а отсутствие скольжения должно быть гарантировано, то необходимо, чтобы коэффициент трения покоя в момент перехода к скольжению удовлетворял условию:

$$f_0 > \frac{2f_к}{d_ш}, \qquad (6.22)$$

где $f_к$ — коэффициент трения качения.

Для направляющих качения отсутствие заклинивания определяют по тем же формулам, что и для направляющих с трением скольжения, только вместо коэффициента f трения скольжения в формулы подставляют коэффициент $f_к$ трения качения.

Существенными факторами, оказывающими отрицательное влияние на работу направляющих качения, являются зазоры между сопряженными через тела качения поверхностями каретки и основания. В открытых направляющих зазоры выбираются автоматически, а в закрытых требуется их регулировка.

Конструктивная схема закрытой шариковой направляющей с сепараторами *2*, в которой регулировку зазора между шариками *1* и кареткой *3* проводят при помощи перемещения одной или двух планок *4* с последующим их закреплением винтами *5*, приведена на рис. 6.8.

В роликовых направляющих основной деталью является ролик, который может перекатываться по цилиндрической или плоской поверхности. В качестве роликов иногда используют стандартные радиальные подшипники. В роликовых направляющих (рис. 6.9, *а*) ролики *1* перекатываются по цилиндрической поверхности *2*.

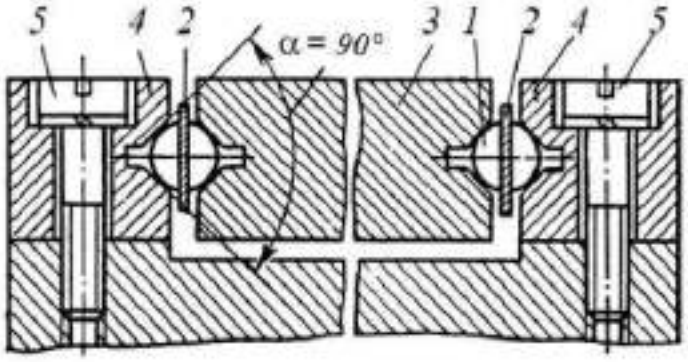


Рис. 6.8. Закрытая шариковая направляющая

Для обеспечения контакта всех роликов с направляющими должна быть предусмотрена специальная регулировка, один из вариантов которой показан на рис. 6.9, *б*. Ролик *4* укрепляют на оси *1* с эксцентриситетом e = 0,2–0,5 мм. Окончательно гайки *2* и *3* закрепляют после регулирования положения ролика.

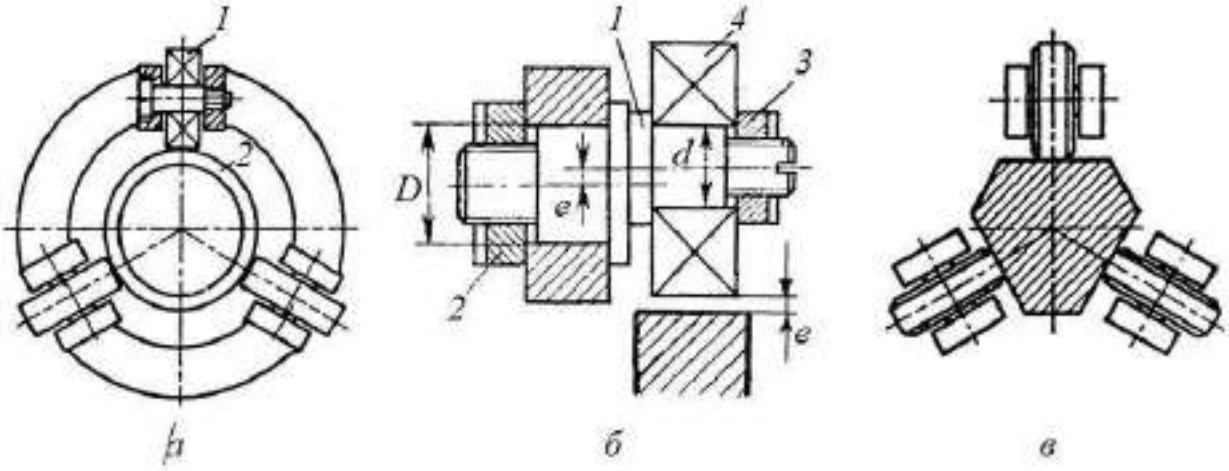


Рис. 6.9. Направляющие, в которых используются стандартные подшипники

Для направляющих (рис. 6.9, *в*) ролики с эксцентричными осями необязательны, так как каждый ролик удерживается в отдельной державке. Регулирование осуществляют за счет перемещения державок в пределах зазоров в проходных отверстиях под крепежные винты (на рис. 6.9 не показаны).

Конструктивные схемы роликовых направляющих закрытого типа приведены на рис. 6.10.

В последнее время применяют более экономичные шариковые направляющие линейного перемещения, которые уменьшают габаритные размеры конструкции, массу и общую стоимость ММ.

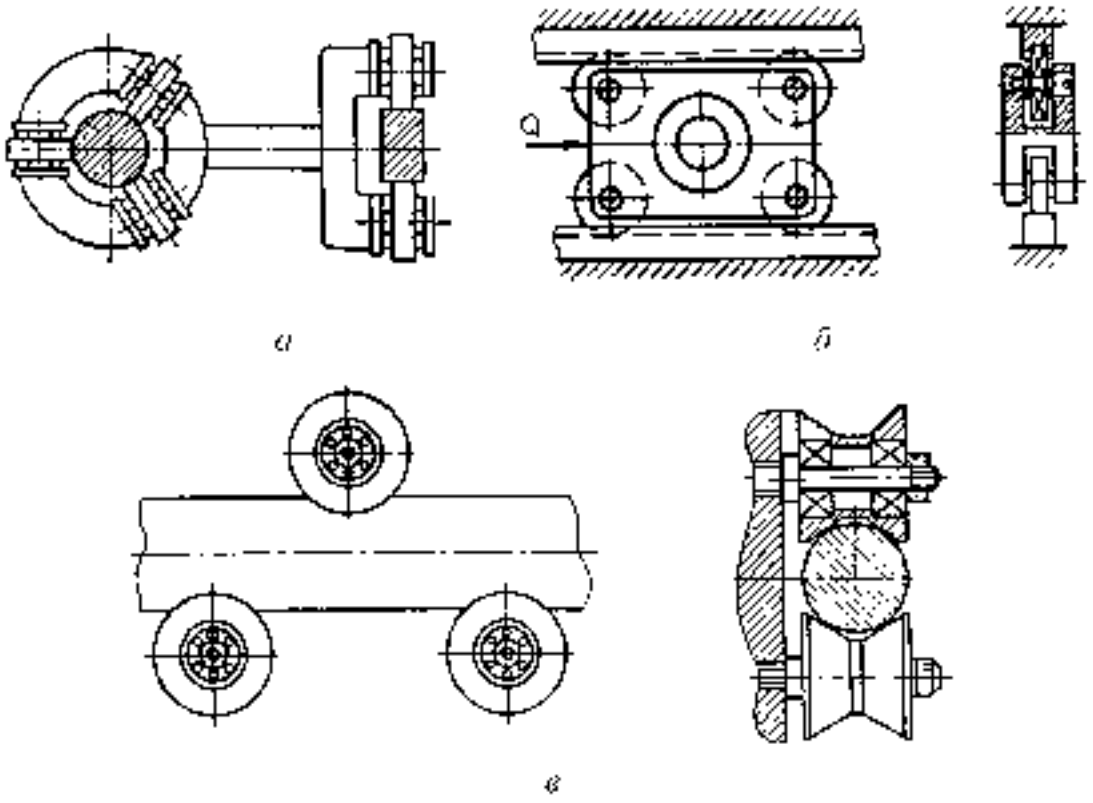


Рис. 6.10. Роликовые направляющие закрытого типа

6.4. ШАРИКОВЫЕ LM-НАПРАВЛЯЮЩИЕ

Шариковые *LM*-направляющие фирмы *THK* (Япония), предназначенные для обеспечения прямолинейного перемещения, представлены на рис. 6.11.

Рассмотрим *LM*-направляющую типа *HSR* (рис. 6.12).

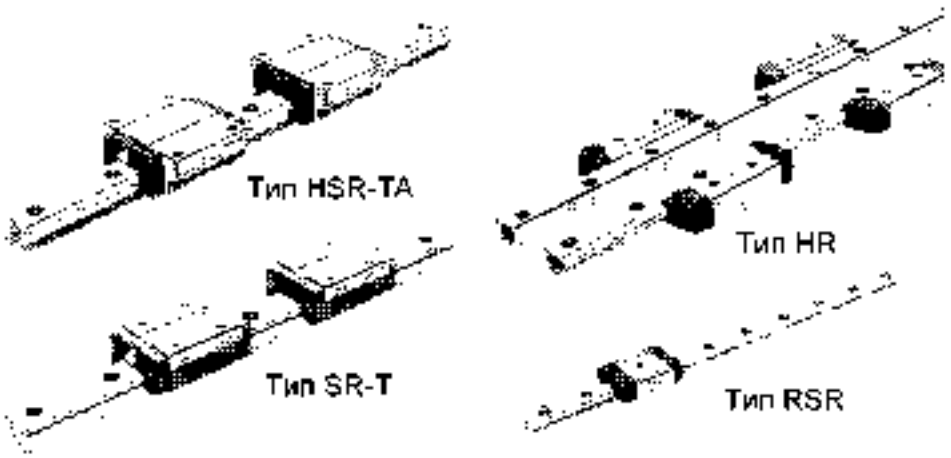


Рис. 6.11. *LM*-направляющие японской фирмы *THK*

Она представляет собой систему, состоящую из *LM*-рельса *1* и *LM*-блока *2*, между которыми расположены шарики *3*, находящиеся в сепараторе *4*, концевой плиты *5*, ниппеля *6* для подачи консистентной смазки и бокового уплотнителя (на рис. 6.12 не показан). Четыре ряда шариков, расположенные под углом 45° к поверхностям качения *LM*-рельса и *LM*-блока, могут воспринимать нагрузку сверху, снизу, справа, слева. Радиусы $r_к$ кривизны поверхностей качения составляют 52–53 % диаметра $d_ш$ шарика, т.е. $r_к = (0{,}52–0{,}53)d_ш$.

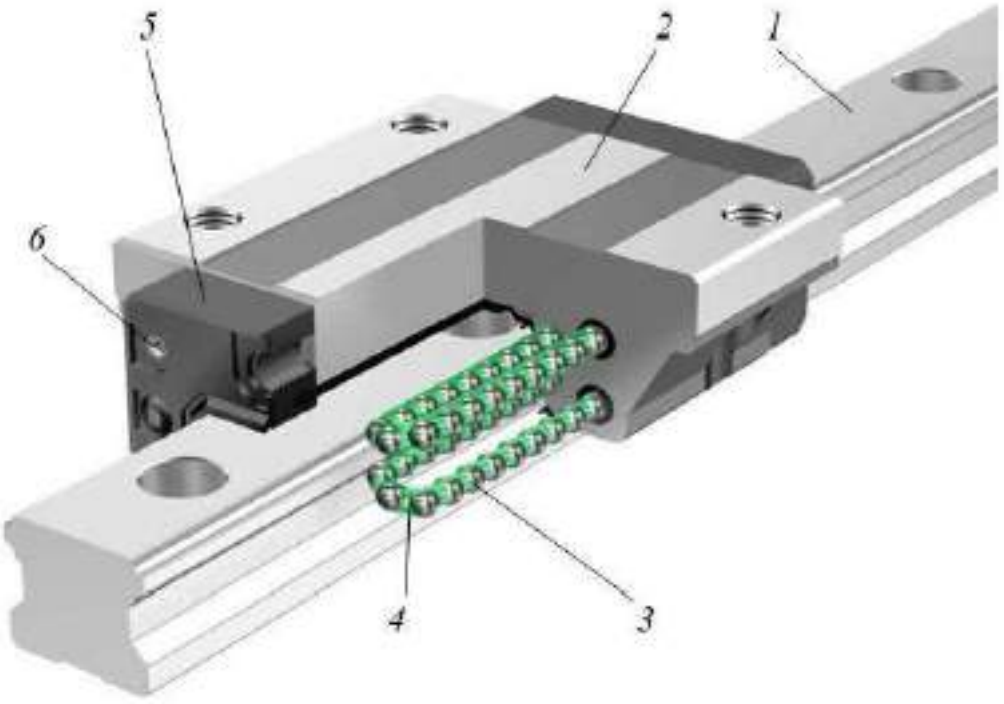


Рис. 6.12. *LM*-направляющая типа *HSR*

Фирма *THK* выпускает широкую гамму данных типов на динамические грузоподъемности 0,5–187 кН.

6.5. ШАРИКОСПЛАЙНОВЫЕ НАПРАВЛЯЮЩИЕ

Шарикосплайновые направляющие (рис. 6.13) фирмы *THK* состоят из шлицевого вала (сплайнвала) и шариковой гайки (сплайнгайки). В качестве примера рассмотрим устройство шарикосплайновой направляющей типа *LBS* (рис. 6.14).

Она состоит из сплайнвала *1* и сплайнгайки *2* с шпоночной канавкой *3*, между которыми расположены в сепараторе *4* шесть рядов воспринимающих нагрузку шариков *5* и шесть каналов *6* возврата шариков, расположенных в сплайнгайке, резинового уплотнителя *7* и отверстия *8* для смазки.

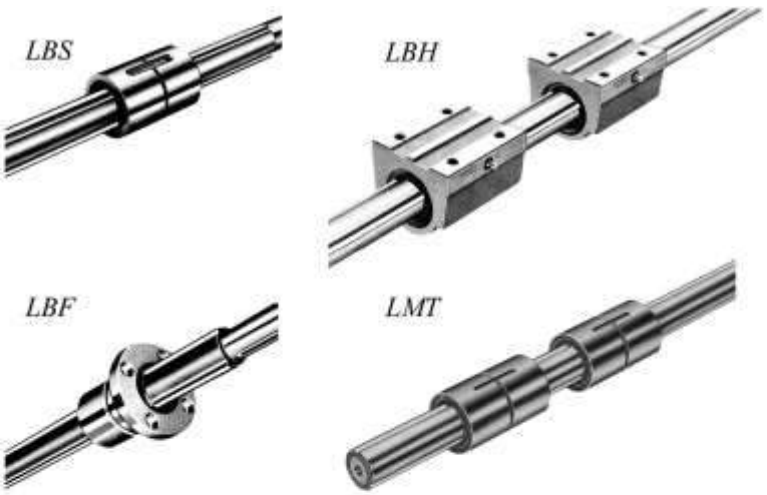


Рис. 6.13. Шарикосплайновые направляющие фирмы *THK*

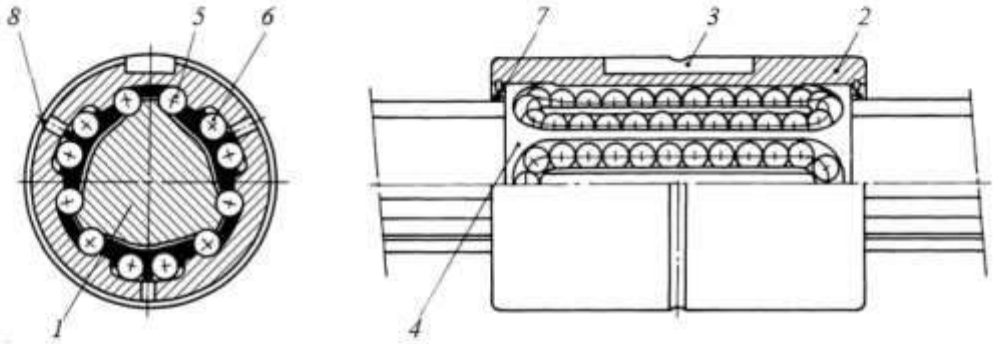


Рис. 6.14. Шарикосплайновая направляющая типа *LBS*

Шарикосплайновая направляющая типа *LBF* в отличие от *LBS* имеет корпус с фланцем.

Шарикосплайновая направляющая типа *LBH* отличается от направляющих типа *LBS* и типа *LBF* формой гайки и устройством мест крепления.

6.6. РАСЧЕТЫ LM- И ШАРИКОСПЛАЙНОВЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ

6.6.1. Расчет LM-направляющих на долговечность

Расчет *LM*-направляющих на долговечность при действии внешних нагрузок производят по формуле:

$$L = 50\left(\frac{f_H f_T f_C}{f_W}\frac{C}{P_C}\right)^3, \text{ км}, \qquad (6.23)$$

где L — долговечность работы направляющей (выраженная в километрах); C — номинальная динамическая грузоподъемность, Н; P_r — расчетная нагрузка, Н; f_H — коэффициент твердости, определяемый по графику (рис. 6.15); f_t — температурный коэффициент (при температуре системы $t \le 100$ °С $f_t = 1$, при $100 < t \le 200$ °С $1 \ge f_t \ge 0.73$); f_c — коэффициент контакта (принимают в зависимости от числа n подшипниковых блоков на одной направляющей: при $n = 1$ $f_c = 1$; при $n = 2$ $f_c = 0.81$; при $n = 3$ $f_c = 0.72$; при $n = 4$ $f_c = 0.66$); f_w — коэффициент нагрузки (при спокойной внешней нагрузке и скорости перемещения $v < 0{,}25$ м/с $f_w = 1{,}15$; при небольших динамических внешних воздействиях и $0.25 < v \le 1$ м/с $f_w = 1{,}5 \ldots 2{,}0$; при ударной внешней нагрузке и $v > 1$ м/с $f_w = 2{,}0 \ldots 3{,}5$).

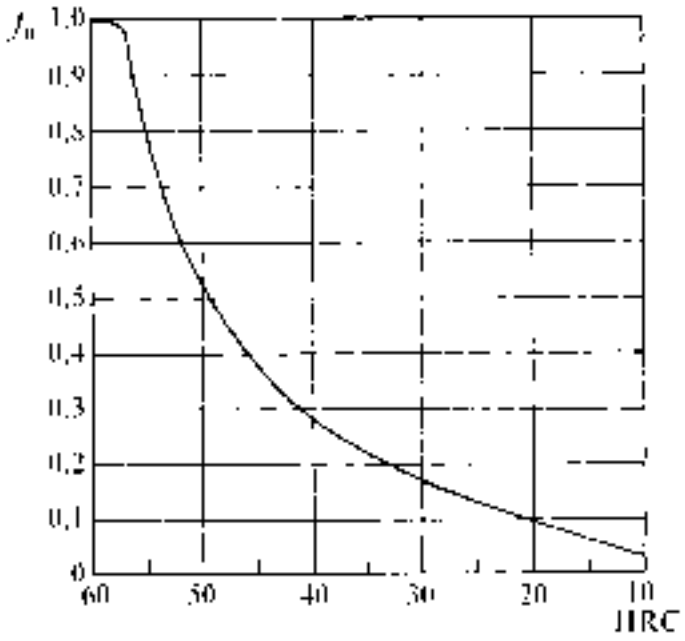


Рис. 6.15. Зависимость f_H от твердости контактирующих поверхностей

Расчетная нагрузка на блок определяется следующим образом.

В том случае, если *LM*-блок воспринимает одновременно нагрузки всех направлений (рис. 6.16), то определяют результирующую (эквивалентную) нагрузку P_r, Н, и подставляют ее в формулу (6.23) вместо P_r:

для *LM*-направляющих типов *HSR* и *RSR*

$$P_r = \left| P_a - P_t \right| + P_r , \qquad (6.24)$$

где P_R — радиальная нагрузка, Н; P_t — противорадиальная нагрузка, Н; P_l — горизонтальная нагрузка (не осевая), Н;

– для *LM*-направляющих типа *SR*:

$$P_E = XP_L + YP_T, \tag{6.25}$$

где X и Y — коэффициенты эквивалентности (при $P_L/P_T \geq 1$ коэффициенты эквивалентности равны $X = 1$ и $Y = 1{,}15$, и P_E становится результирующей противорадиальной нагрузкой; при $P_L/P_T < 1$ $X = 0{,}866$ и $Y = 1$, и P_E является результирующей нагрузкой в горизонтальном направлении).

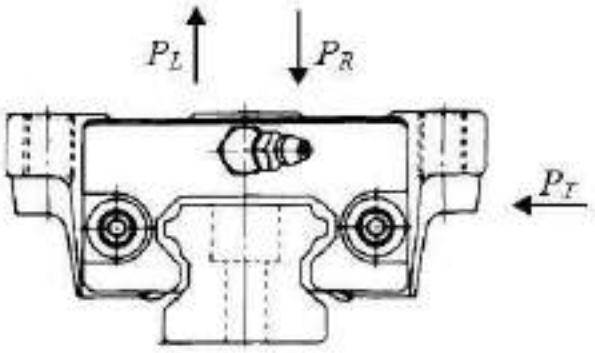


Рис. 6.16. Нагрузки на *LM*-блок

Долговечность *LM*-направляющих, выраженная в часах:

$$L_h = \frac{10^3 L}{120 l_S n_1}, \text{ ч}, \tag{6.26}$$

где l_S — длина перемещения *LM*-блока по *LM*-направляющей, м; n_1 — частота возвратно-поступательных перемещений (циклов) в минуту, мин$^{-1}$.

6.6.2. Расчет шарикосплайновых направляющих на долговечность

Расчет шарикосплайновых направляющих на долговечность при действии только крутящего момента проводят по формуле:

$$L = 50\left(\frac{f_H f_T f_C}{f_W}\frac{C_T}{T_C}\right)^3, \text{ км}, \tag{6.27}$$

где L — долговечность работы направляющей, км; C_T — основной номинальный динамический момент, Нм; T_C — расчетный нагрузочный крутящий момент, Нм.

При действии радиальной нагрузки — по формуле (6.23).

При одновременном действии крутящего момента и радиальной силы определяют эквивалентную радиальную нагрузку, Н:

$$P_E = P_C + \frac{4T_C 10^3}{3d_P \cos\alpha}, \tag{6.28}$$

где d_P — диаметр окружности по центрам шариков, мм; $\alpha = 45°$ — угол контакта шариков с поверхностями винта и гайки.

В этом случае долговечность определяют по формуле:

$$L = 50\left(\frac{f_H f_T f_C}{f_W} \cdot \frac{C}{P_E}\right)^3, \text{ км.} \tag{6.29}$$

Долговечность работы шарикосплайновых направляющих в часах определяют по формуле (6.26).

6.6.3. Расчет LM- и шарикосплайновых направляющих на статическую грузоподъемность

Расчет направляющих на статическую грузоподъемность проводят по формуле:

$$\frac{C_0}{P_0} \geq f_S, \tag{6.30}$$

где C_0 — номинальная статическая грузоподъемность, Н; P_0 — статическая нагрузка, Н; f_S — статический коэффициент безопасности (при спокойной нагрузке и малом прогибе оси f_S = 1,0–1,5; при наличии ударного воздействия и осевой силы f_S = 2–5).

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к направляющим ММ?
2. Перечислите разновидности направляющих.
3. В чем состоят преимущества и недостатки направляющих с трением скольжения по сравнению с направляющими с трением качения?

4. Какие материалы используются в парах скольжения?

5. Как устроена направляющая «ласточкин хвост»?

6. Какие марки сталей используют для изготовления направляющих с трением качения?

7. Что такое шариковые и роликовые направляющие?

8. Поясните конструкцию шариковых *LM*-направляющих.

9. Поясните конструкцию шарикосплайновых направляющих.

7. ИНФОРМАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

7.1. ДАТЧИКИ ИНФОРМАЦИИ

Датчик (первичный преобразователь) — элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства системы, преобразующий контролируемую величину (давление, температуру, частоту, перемещение, скорость, напряжение, электрический ток и т.п.) в сигнал, удобный для измерения, передачи, преобразования, хранения и регистрации, а также для воздействия им на управляемые процессы.

В состав датчика входят воспринимающий (чувствительный) орган и один или несколько промежуточных преобразователей. Часто датчик состоит только из одного воспринимающего органа (например, термопара, тензодатчик).

Выходные сигналы датчиков различают по роду энергии (электрические, механические, пневматические, гидравлические) и по характеру модуляции потока энергии (амплитудные, время-импульсные, частотные, фазовые, дискретные (кодовые)). Наиболее распространены датчики, действие которых основано на изменении электрического сопротивления, емкости, индуктивности или взаимной индуктивности электрической цепи (реостатный датчик, емкостной датчик, индуктивный датчик), а также на возникновении ЭДС при воздействии контролируемых механических, акустических, тепловых, электрических, магнитных, оптических или радиационных величин (тензодатчик, датчик перемещения, пьезоэлектрический датчик, датчик давления, фотоэлемент).

В соответствии с классификацией, принятой в Государственной системе приборов и средств автоматизации (ГСП), датчик относят к техническим средствам сбора и первичной обработки контрольно-измерительной информации.

Датчики являются одним из основных элементов в устройствах дистанционных измерений, телеизмерений и телесигнализации, регистрирования и управления, робототехники и мехатроники, а также в различных приборах и измерительных устройствах в биологии и медицине для контроля жизнедеятельности человека, животных или растений. В связи с автоматизацией производства важнейшее значение приобрели датчики для измерения и регистрации плотности и концентрации растворов, состава и свойств веществ, динамической вязкости и текучести различных сред, влажности, прозрачности, интенсивности окраски, толщины слоя, температуры, упругости, перемещения, скорости, ускорения и других параметров, характеризующих технологические процессы. Для

этого часто используют датчики, основанные на ультразвуковых, радиоволновых, оптических, радиационных и других методах измерений. Для имитации реальных условий при испытании систем автоматического регулирования и в вычислительной технике для решения задач статистическими методами применяют датчики случайных чисел.

Датчики служат для автоматического извлечения информации. Современная измерительная техника может непосредственно оценивать более 300 различных физических, химических и других величин, но этого для автоматизации ряда новых областей человеческой деятельности бывает недостаточно. Экономически целесообразное расширение номенклатуры датчиков в ГСП достигается унификацией чувствительных элементов. Чувствительные элементы, реагирующие на давление, силу, вес, скорость, ускорение, звук, свет, тепловое и радиоактивное излучения, применяют в датчиках для контроля загрузки оборудования и его рабочих режимов, качества обработки, учета выпуска изделий, контроля за их перемещениями на конвейерах, запасами и расходом материалов, заготовок, инструмента и т.д. Выходные сигналы всех датчиков преобразуются в стандартные электрические или пневматические сигналы.

7.2. ДАТЧИКИ ПОЛОЖЕНИЯ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Датчики положения и перемещения относятся к наиболее часто используемым в мехатронике информационным устройствам. Невозможно представить область, где бы они не применялись. Датчики играют роль важного связующего звена между электронной и механической частями ММ.

Выбирая датчик, прежде всего необходимо правильно определить приоритеты по следующим критериям: чувствительность; разрешающая способность и точность; линейность; скорость измеряемого процесса; условия применения и класс защиты; надежность; габаритные размеры; стоимость.

Необходимо учитывать, что датчик может определять абсолютное или относительное положение контролируемого объекта. Существуют два основных метода определения положения и измерения перемещений. При первом методе датчик вырабатывает сигнал, являющийся функцией положения одной из его частей, связанных с подвижным объектом, а изменения этого сигнала отображают перемещение. Такие датчики положения называют абсолютными. К ним относят:

- резистивные (потенциометрические) датчики;
- индуктивные датчики с подвижным сердечником;

– емкостные датчики с подвижными обкладками;

– цифровые кодовые датчики абсолютных значений.

При втором методе датчик генерирует единичный импульс на каждом элементарном перемещении, а положение определяют подсчетом суммы импульсов в зависимости от направления перемещения. Такие датчики положения называют относительными. К ним относят фотоэлектрические (оптоэлектронные) импульсные датчики положения. Достоинством относительных датчиков, по сравнению с абсолютными, являются их простота и низкая стоимость, а недостатком — необходимость периодической калибровки и дальнейшей микропроцессорной обработки.

Датчики также делят на контактные и бесконтактные. В бесконтактных датчиках связь между подвижным объектом и датчиком осуществляют посредством магнитного, электромагнитного или электростатического полей, а также оптоэлектронным способом.

Конструкции датчиков должны позволять размещать их в ММ в местах с ограниченным для установки оборудования объемом, обладать помехоустойчивостью, т.е. возможностью эксплуатации в условиях электромагнитных полей, колебаний напряжения и частоты сети, а также устойчивостью к механическим воздействиям (ударам, вибрациям) и к изменениям параметров окружающей среды (температуры, влажности и т.д.).

К наиболее простым датчикам положения, работающим по принципу «включено — выключено», относят предельные (конечные) выключатели, микропереключатели, бесконтактные переключатели, фотореле, герконы, путевые датчики сигналов. С их помощью возможно осуществлять контроль пути, пройденного выходным звеном ММ.

По виду выходного сигнала более сложные датчики делят на аналоговые и цифровые. Развитие цифровых мехатронных систем вызвало потребность в разработке цифровых датчиков, а также устройств сопряжения аналоговых датчиков с цифровыми устройствами. Несмотря на достоинства цифровых датчиков (простое сопряжение с устройствами цифровой обработки сигналов, высокая точность, необходимость только одного маломощного источника питания постоянного тока), применение их ограничено.

Поэтому до настоящего времени электромеханические аналоговые датчики не утратили возможности своего применения в цифровых мехатронных системах. Это связано с такими достоинствами аналоговых датчиков, как высокая степень отработанности основных конструктивных элементов и узлов, высокие эксплуатационные качества (надежность в работе, малые масса и габариты),

а также с развитием техники, проявившемся в разработке миниатюрных и высокочастотных микроэлектронных аналого-цифровых (АЦП) и аналого-частотных (АЧП) преобразователей. К тому же высокочастотные аналоговые датчики электромашинного тока со вторичными преобразователями сопоставимы по цене, а в ряде случаев и дешевле цифровых датчиков.

Аналоговые датчики положения нашли широкое применение в различных областях техники. В ММ часто используются потенциометрические датчики.

Потенциометрические датчики (потенциометры) по физическому принципу действия являются электромеханическими реостатными устройствами, в которых выходное напряжение изменяется пропорционально линейному или угловому перемещению входного звена. Потенциометры могут быть проволочными и пленочными. По рабочему диапазону датчики углового перемещения делят на одно- и многооборотные. Проволочные потенциометры отличаются более высокой стабильностью характеристик, но их точность и разрешающая способность ниже, чем у пленочных из-за ступенчатой характеристики, обусловленной дискретным изменением сопротивления при перемещении щетки движка. Кроме того, в пленочных потенциометрах меньше силы трения, поэтому они имеют более длительный срок службы и допускают более высокие скорости перемещений.

К достоинствам потенциометрических датчиков относят высокую линейность, простую схему включения и относительно невысокую стоимость. Основные недостатки — наличие механического контакта и сравнительно небольшой срок службы.

Потенциометрический датчик имеет ограниченный рабочий диапазон и невысокие допустимые скорости, поэтому его, как правило, соединяют либо с тихоходным, либо с промежуточным валом ММ. При согласовании углов поворота валов потенциометра и ММ, т.е. при выборе передаточного отношения кинематического преобразователя движения, необходимо наиболее полно использовать рабочий диапазон углов поворота потенциометра, не превышая их предельных значений. Скорость вращения также должна быть меньше допустимой. Если потенциометр имеет механические упоры, ограничивающие диапазон углов поворота, то во избежание его поломки запрещают прикладывать к его валу вращающий момент больше допустимого. Для обеспечения высокой точности измерений и надежной работы датчика соединение валов потенциометра и мехатронного модуля должно быть безлюфтовым, так как люфт приводит к искажению сигнала по положению.

Внешний вид некоторых потенциометрических датчиков ПТП-1 и СП4-8 изображен на рис. 7.1, 7.2, а их технические характеристики приведены в табл. 7.1.



Рис. 7.1. Потенциометрический датчик ПТП-1



Рис. 7.2. Потенциометрический датчик СП4-8

Таблица 7.1

Технические характеристики потенциометров

Наименование характеристики	Тип датчика	
	Проволочный ПТП-11	Пленочный СП4-8
Мощность, Вт	1,0	0,5
Отклонение от линейности, %	± 0,3	± 0,5
Рабочий диапазон, град	330	340
Наибольшая частота вращения, об/мин	100	600
Момент трогания $M \cdot 10^{-4}$, Н·м	24,5	–

Наименование характеристики	Тип датчика	
	Проволочный ПТП-11	Пленочный СП4-8
Срок службы, ч	3 000	10 000
Износоустойчивость, циклов	$5\ 10^5$	10^7
Масса, кг	0,030	0,035

Цифровые датчики положения все более широко используются в различных областях техники, в частности в мехатронике.

Их делят на кодовые и импульсные. Кодовые датчики обеспечивают абсолютную систему отсчета, т.е. однозначно определяют положение выходного вала ММ во всем рабочем диапазоне перемещений, а импульсные датчики являются датчиками относительного отсчета.

Рассмотрим назначение, устройство, принцип действия и технические характеристики некоторых цифровых датчиков положения.

Фотоэлектрические датчики. Принцип действия фотоэлектрических датчиков основан на использовании физического эффекта периодического изменения освещенности в зависимости от перемещения (угла поворота). Эти датчики являются бесконтактными и дискретными.

В цифровых фотоэлектрических кодовых датчиках измеряемое непрерывное значение угла поворота вала преобразуется в цифровой двоичный (реже десятичный) код, т.е. кодовую комбинацию электрических сигналов. В таком виде сигналы могут непосредственно поступать в ЭВМ без дополнительных преобразований.

Наибольшее распространение получили кодовые датчики, выполненные в виде кодирующего диска с фотоэлектрической (оптической) системой считывания. Диск устанавливают на валу датчика, который представляет собой стеклянное основание с кодовой маской, состоящей из кодовых дорожек, число которых равно требуемому числу разрядов выходного сигнала. На дорожке чередуются прозрачные и непрозрачные участки, первые имитируют «1», вторые — «0» двоичного кода. Следует отметить, что для устранения неоднозначности при считывании кодовую маску наносят в соответствии с кодом Грея (циклическим кодом), но могут быть использованы и другие коды.

Кодовые датчики подобно потенциометрическим по величине рабочего диапазона делят на одно- и многооборотные. Они являются датчиками абсолютного отсчета.

Основное достоинство кодовых датчиков — их высокая разрешающая способность. К недостаткам следует отнести конструктивную сложность и громоздкость.

При проектировании ММ выбор кодового датчика целесообразен в том случае, если требуется высокая точность перемещения выходного звена, система управления имеет цифровой вход и нет существенных ограничений по массогабаритным показателям.

Внешний вид кодового датчика типа ФЭП-15 показан на рис. 7.3, а технические характеристики приведены в табл. 7.2.

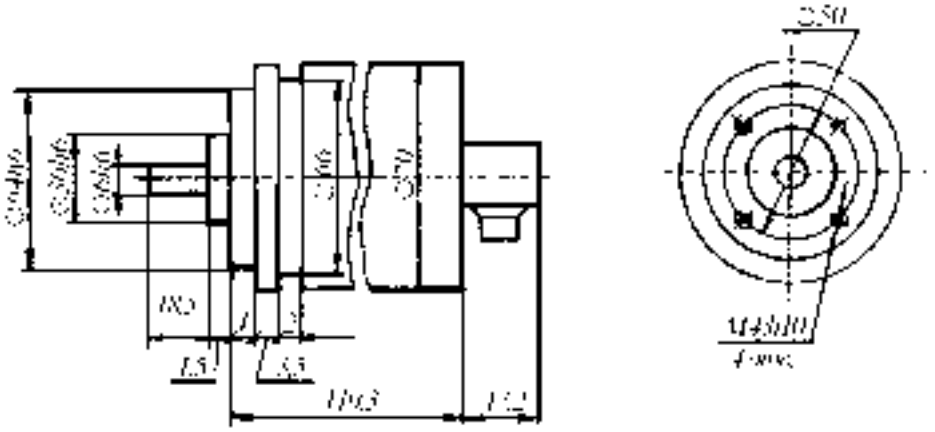


Рис. 7.3. Фотоэлектрический кодовый датчик ФЭП-15

Таблица 7.2

Технические характеристики кодового датчика типа ФЭП-15

Наименование характеристики	Значение
Вид выходного сигнала	Двоичный
Объем информации, единиц дискретности	32 768 (2 048 на 1 об)
Рабочий диапазон, град	0...5760
Погрешность преобразования угла за один оборот	10'33"
Наибольшая частота вращения, об/мин	900
Масса, кг	0,8

В цифровых фотоэлектрических импульсных (*фотоимпульсных*) датчиках измеряемая непрерывная величина угла поворота вала преобразуется в определенное число электрических импульсов, которые в специальных схемах счета импульсов преобразуются в цифровой код.

Импульсный датчик имеет два канала и вырабатывает сигналы прямоугольной формы, сдвинутые по фазе на 90°, что позволяет определить направление движения звена. Он не имеет ограничений по диапазону углов поворота

и измеряет только приращения перемещений (относительное измерение). Для устранения ошибок, вызванных помехами, и выполнения абсолютного отсчета вводится синхронизирующий импульс (ноль-импульс), который подается в третий канал при каждом проходе через отсчетное положение датчика. Для определения начала отсчета необходимо применение специальных схемных решений и дополнительных калибровочных датчиков, например потенциометров, точных механических упоров с концевыми выключателями, рисок и т.п. Основным показателем импульсных датчиков является разрешающая способность. Импульсные датчики по сравнению с кодовыми имеют более простую конструкцию, но требуют специальных схем счета импульсов и калибровки.

При выборе импульсного датчика необходимо учитывать предельную скорость вращения вала и требуемую точность позиционирования выходного звена ММ.

Соединение валов импульсного датчика и ММ производят с помощью специальных соединительных муфт или безлюфтового кинематического преобразователя движения.

К фотоимпульсным датчикам перемещений относят преобразователи линейных и угловых перемещений ЛИР (рис. 7.4), выпускаемые Санкт-Петербургским специальным конструкторским бюро станочных информационно-измерительных систем (СКБ ИС). Они предназначены для различных моделей металорежущих станков и обрабатывающих центров, поворотных систем, приборов, робототехнических комплексов, технологических установок, мехатронных систем и т.п.

Круговые фотоэлектрические преобразователи перемещений



Рис. 7.4. Датчик ЛИР-158А

Принцип действия преобразователей перемещений ЛИР основан на фотоэлектронном сканировании штриховых растров. В качестве осветителей используют инфракрасные светодиоды, а приемниками излучения служат кремниевые фотодиоды.

Максимальный диапазон преобразования линейных перемещений — 3 220 мм, угловых — неограничен.

Для приема и обработки электрических сигналов, поступающих от оптоэлектронных преобразователей линейных и угловых перемещений, и осуществления визуализации на цифровом табло полученной информации применяют *устройства цифровой индикации* (УЦИ).

УЦИ могут быть использованы в качестве специализированных комплектующих изделий в составе информационно-измерительных систем различных машин и приборов при измерении и контроле механических перемещений.

Применение цифрового отсчета вместо визуального съема показаний со шкал лимбов предотвращает субъективные ошибки считывания, значительно уменьшает утомляемость, позволяет производить контроль без остановки технологического процесса и без периодического измерения размеров обрабатываемых деталей с помощью универсальных измерительных средств.

В основе схемотехники УЦИ, выпускаемых СКБ ИС, использован широко распространенный микроконтроллер с ядром 8051, позволяющий создавать как универсальное, так и специализированное программное обеспечение. Светодиодные индикаторы фирмы *Hewlett Packard* обеспечивают хорошую яркость и разборчивость вывода информации.

Возможность встраивания в УЦИ последовательного канала *RS*-232 и различных элементов ввода/вывода позволяют взаимодействовать УЦИ с другими устройствами.

УЦИ выпускают нескольких типов, рассчитанных на работу с одним, двумя или тремя преобразователями, способных одновременно контролировать перемещение по одной, двум или трем осям соответственно.

СКБ ИС выпускает простейшие по своим функциональным возможностям УЦИ серий ЛИР-510М (рис. 7.5), ЛИР-520, ЛИР-530. Базовый набор функций этой серии УЦИ включает:

– обнуление текущего значения в любом месте контролируемого перемещения;

– осуществление контроля текущего положения рабочего органа относительно положения референтной метки преобразователя;

– работу в приращениях.



Рис. 7.5. Устройство цифровой индикации ЛИР-510М

Включая в себя весь вышеперечисленный набор функций, эти устройства обладают способностью вырабатывать в соответствии с заданием управляющие сигналы, выполняя тем самым не только индикационные функции, но и функции управления.

Для приема внешних сигналов от различного рода путевых выключателей или дополнительных органов управления в УЦИ предусмотрена установка шестнадцати приемников внешнего сигнала.

Использование подобных систем связано с требованиями некоторых технологических процессов сразу после подачи питающего напряжения определить точное положение рабочих органов в пространстве без каких-либо перемещений.

Все УЦИ выпускают с фиксированной разрешающей способностью (дискретностью). Это означает, что разрешающая способность подключаемого преобразователя должна соответствовать разрешающей способности для входного сигнала УЦИ и не изменяться в процессе эксплуатации.

Вращающиеся трансформаторы (ВТ) представляют собой электрические индукционные машины переменного тока, выходное напряжение которых зависит от угла поворота ротора. Характер этой зависимости определяется конструкцией и схемой включения обмоток ВТ.

Вращающиеся трансформаторы (рис. 7.6, *а*) имеют по две одинаковые взаимно перпендикулярные первичные обмотки (возбуждения и квадратурную) и вторичные (синусную и косинусную). Существуют синусно-косинусные вра-

щающиеся трансформаторы (СКВТ) с компенсационными обмотками обратной связи, которые предназначены для компенсации основных и дополнительных погрешностей (рис. 7.6, *б*).

Основные погрешности возникают в нормальных условиях и обусловлены принципом работы ВТ, конструктивными и технологическими причинами. Дополнительные погрешности возникают при изменении температуры окружающей среды, амплитуды и частоты питающего напряжения.

В зависимости от расположения обмоток возбуждения ВТ могут быть с питанием со стороны статора или ротора и с напряжением возбуждения постоянной или переменной амплитуды.

По характеру токосъема ВТ могут быть контактными и бесконтактными. Главным техническим показателем ВТ является точность выполнения им функциональных преобразований.



а *б*

Рис. 7.6. Приборы для измерения угла поворота:
***а* — вращающийся трансформатор ВТ-5;**
***б* — синусно-косинусный вращающийся трансформатор СКВТ-5**

В ММ применяют двухполюсные и многополюсные вращающиеся трансформаторы, работающие в режимах: синусно-косинусном, линейном, фазовращателя, дистанционной передачи угла.

На основе синусно-косинусных ВТ в качестве датчиков углового положения используют устройства, называемые фазовращателями, которые обеспечивают линейное изменение фазы выходного напряжения как функции угла поворота ротора.

Применяются также многополюсные вращающиеся трансформаторы, которые имеют большое число пар P полюсов. В зависимости от конструктивных особенностей их подразделяют на редуктосины и индуктосины.

При работе редуктосина фаза его выходного сигнала зависит от угла поворота ротора. За один период изменения напряжения питания магнитное поле повернется на угол $2\pi/P$ (а не на 2π, как у ВТ). Следовательно, при повороте ротора на угол $2\pi/P$ фаза выходного сигнала повернется на угол 2π. Использование редуктосинов с большим числом пар P полюсов позволяет во многих случаях применять их без повышающего механического преобразователя.

Редуктосин имеет встраиваемую конструкцию, обычно его напрямую соединяют с валом двигателя.

Угловая погрешность некоторых редуктосинов не превышает $1'$.

Индуктосины — многополюсные ВТ с печатными обмотками, выполненными на неферромагнитном сердечнике. Для контроля высокоточных угловых и линейных перемещений в ММ применяют круговые и линейные индуктосины.

Круговые индуктосины представляют собой электрическую микромашину плоской конструкции с двумя изолированными дисками, на которых расположены печатные обмотки. Один из дисков соединен с валом исполнительного механизма (ротор), а второй неподвижен (статор). Обмотки выполняют однослойными и многослойными. Чаще всего применяют индуктосины с многополюсной однофазной обмоткой на статоре и двухфазной секционной обмоткой на роторе.

В режиме фазовращателя питание обмоток индуктосина осуществляют переменным напряжением с частотой 10–100 кГц, сдвинутым по фазе на 90°.

Погрешность преобразования кругового индуктосина не превышает $5''$.

Линейный индуктосин по принципу действия аналогичен круговому. Он состоит из длинной линейки, установленной на неподвижной части ММ и имеющей однофазную многополюсную обмотку, и короткой головки считывания (сканирующей головки), устанавливаемой на подвижном элементе модуля. Обмотка короткой линейки — двухфазная, со сдвигом фазы на 90°. Один полюс обмотки составляет обычно 2 мм, длина головки 100 мм, а длина линейки 250 мм. Для перемещений более 250 мм линейки стыкуют по торцам, образуя наборную шкалу.

Погрешность линейного индуктосина составляет 0,001–0,002 мм.

Индуктосины изготовляют в открытом исполнении и встраивают прямым монтажом в конструкцию ММ.

7.3. ДАТЧИКИ СКОРОСТИ

Датчики скорости предназначены для получения в ММ сигнала обратной связи по скорости, которая является корректирующей обратной связью, обеспечивающей устойчивость работы ММ. Поэтому к датчикам скорости не предъявляют таких жестких требований по линейности и точности, как к дат-чикам положения. Они должны иметь хорошую чувствительность, особенно при малых скоростях.

Для получения сигнала по скорости в мехатронном модуле могут быть использованы импульсные датчики, рассмотренные выше. В этом случае ММ должен дополнительно содержать преобразователь частоты импульсов в скоростной сигнал. Точность получения скоростного сигнала таким способом зависит от числа импульсов на оборот вала. Таким образом, использование в силовом модуле импульсного датчика позволяет выделить два сигнала: по положению и по скорости, что упрощает конструкцию ММ.

Для получения сигнала только по скорости используют специальные датчики скорости — тахогенераторы и фотоимпульсные датчики скорости.

Тахогенераторы представляют собой электрические микромашины, выходное напряжение которых пропорционально угловой скорости вращения ротора. В зависимости от принципа действия тахогенераторы делят на три группы: тахогенераторы постоянного тока, асинхронные и синхронные. Тип тахогенератора выбирают в зависимости от требований точности, линейности скоростной характеристики, диапазона изменения частоты вращения двигателя, условий эксплуатации, надежности, габаритных размеров, массы.

В ММ с коллекторными двигателями постоянного тока, как правило, применяют коллекторные тахогенераторы постоянного тока. В модулях с бесконтактными асинхронными и синхронными двигателями, применяемыми во взрыво- и пожароопасных средах, используют бесконтактные асинхронные и синхронные тахогенераторы.

В качестве тахогенераторов постоянного тока (ТГП) применяют двухполюсные микромашины постоянного тока с электромагнитным и магнитоэлектрическим (от постоянных магнитов) возбуждением.

Коллекторный генератор постоянного тока ТГП-1А с зубцовым ротором изображен на рис. 7.7, встраиваемый тахогенератор ТП-80-20-02 — на рис. 7.8.

Асинхронные тахогенераторы представляют собой двухфазную электрическую микромашину с полым немагнитным ротором. На статоре расположены две обмотки: возбуждения и генераторная.



Рис. 7.7. Тахогенератор 80-20-02

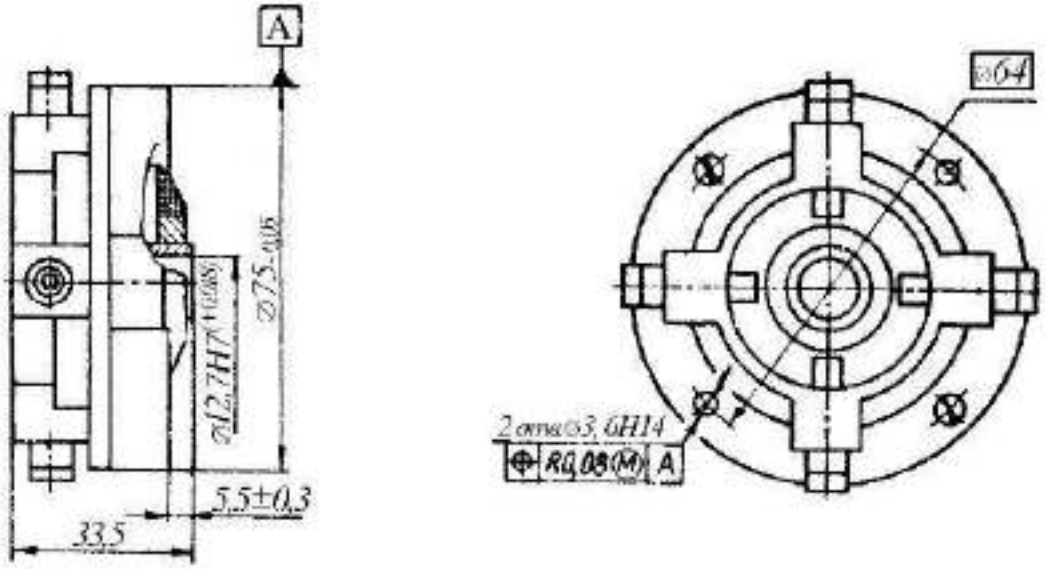


Рис. 7.8. Тахогенератор ТГП-1 (ТГП-1А)

Асинхронный однофазный тахогенератор ТГ-5/10 с полым немагнитным ротором и термокомпенсатором температурной погрешности выходного напряжения представлен на рис. 7.9.

Электрический сигнал тахогенератора находится в прямой зависимости от частоты вращения вала. Поэтому его устанавливают на быстроходном валу ММ: либо непосредственно на валу двигателя, либо соединяют с ним при помощи кинематического преобразователя движения. При согласовании частот вращения валов тахогенератора и двигателя необходимо наиболее полно использовать рабочий диапазон частот вращения тахогенератора, не превышая при этом его наибольшей частоты вращения. Соединение валов двигателя и тахогенератора должно быть безлюфтовым, так как люфт приводит к искажению скоростного сигнала.



Рис. 7.9. Тахогенератор ТГ-5/10

Как правило, все тахогенераторы представляют собой электрические микромашины, выполненные в виде законченных конструктивных узлов, но также могут иметь встраиваемое исполнение. Встраиваемый тахогенератор устанавливают непосредственно на валу, а его корпус скрепляют с корпусом двигателя. Кроме того, двигатели некоторых серий имеют в своем составе встроенный тахогенератор, например двигатели серий ДПМ, ДП, ДПУ, ПЯ.

Фотоимпульсный датчик скорости представляет собой устройство, состоящее из источника излучения (светодиода), фотоприемника (фотодиода) и подвижного элемента — диска или линейки — с равномерно распределенными на них отверстиями или прорезями. Диск или линейку крепят на неподвижном элементе ММ.

В фотоимпульсном датчике угловой скорости (рис. 7.10) световой поток от источника излучения 1, проходя через отверстия или прорези в диске *2*, попадает на чувствительную поверхность фотоприемника *3*, генерируя в нем электрические импульсы с частотой:

$$f = \frac{a}{t}, \text{ Гц}, \qquad (7.1)$$

где a — число импульсов; t — время перемещения подвижного элемента — диска (при линейном перемещении — линейки), с.

Угловую скорость диска, а соответственно и вала на котором он закреплен, определяют в виде:

$$\omega = \alpha f = \frac{2\pi f}{N}, \text{ рад/с}, \tag{7.2}$$

где α — значение одного импульса, рад; N — число отверстий или прорезей вдоль окружности диска, расположенных по окружности радиусом r.

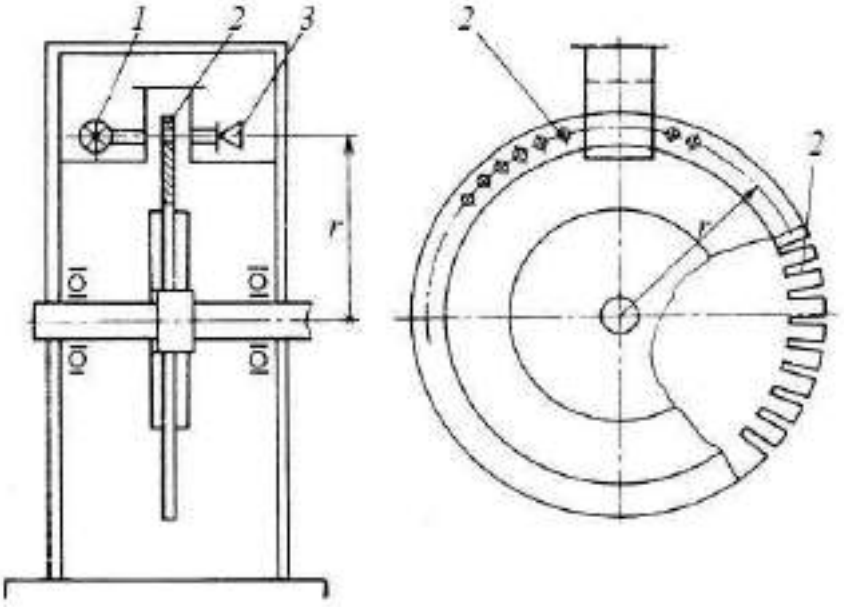


Рис. 7.10. Фотоимпульсный датчик угловой скорости

В фотоимпульсном датчике линейной скорости, содержащем линейку с равномерно распределенными на ней отверстиями или прорезями, частоту генерируемых в фотоприемнике электрических импульсов определяют по приведенной выше формуле.

Линейную скорость линейки и поступательно перемещающегося элемента ММ, с которым она скреплена, определяют в виде:

$$v = Bf = \frac{Lf}{N}, \tag{7.3}$$

где B — значение одного импульса, м; L — длина линейки, м.

Рассмотренные фотоимпульсные датчики скорости можно использовать и для определения перемещений подвижного звена.

При вращательном (формула 7.4) и поступательном (формула 7.5) движении звена перемещение можно определить так:

$$\varphi = \frac{2\pi a}{N}, \text{ рад;} \tag{7.4}$$

$$S = \frac{La}{N}, \text{ м.} \tag{7.5}$$

7.4. РЕЛЕ ДАВЛЕНИЯ И МАНОМЕТРЫ

Реле давления автоматически контролирует величину давления жидкости в гидросистеме гидроприводного ММ, подавая электрический сигнал при повышении или понижении давления по сравнению с величиной, на которую настроено реле.

Типичным случаем применения реле давления является подключение его к напорной линии перед гидродвигателем модуля. Реле регулируют на давление, на 0,3–0,5 МПа меньше максимально допустимого. При наличии перегрузки гидродвигателя реле включает сигнальную лампу на пульте управления. Возможна подача электрического сигнала от реле в цепь управления гидрораспределителя, что позволит оперативно реагировать на перегрузку остановкой или реверсированием гидродвигателя.

Основные элементы реле: золотник (как, например, в реле ПГ62-11) или мембрана (в реле Г62-21М), на которые непосредственно воздействует рабочая жидкость; пружина, затяжкой или ослаблением которой задают контролируемое давление; микропереключатель, под воздействием золотника или мембраны подающий электрический сигнал.

Основные параметры реле давления ПГ62-11 и Г62-21М приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Основные параметры реле давления ПГ62-11 и Г62-21М

Параметр	ПГ62-11	БПГ-62-11	ВПГ-62-11	ГПГ-62-11	Г62-21М
Контролируемое давление, МПа	0,6–5	0,8–10	1–20	5–32	0,5–6,4
Нечувствительность, МПа	0,5	1,0	1,5		0,3

Параметр	ПГ62-11	БПГ-62-11	ВПГ-62-11	ГПГ-62-11	Г62-21М
Утечка, дм^3, не более	0,01	0,02	0,05		–
Масса, кг	3,0				1,5

В качестве чувствительного элемента в большинстве типов манометров (датчиков давления жидкости в гидроприводных ММ) используется тонкостенная изогнутая трубка (так называемая трубка Бурдона). Под действием давления подаваемой в нее жидкости трубка распрямляется, передвигая связанное с ней входное звено преобразователя перемещения в пропорциональный электрический сигнал, проградуированный в единицах давления.

Манометры имеют следующие классы точности: 0,4; 0,6; 1; 1,5; 2,5; 4. Под классом точности понимают отношение наибольшей допустимой ошибки измерения к верхнему пределу измерения манометра, выраженное в процентах. Например, для манометра класса точности 2,5 с верхним пределом измерений 40 МПа наибольшая допустимая ошибка при измерении по верхнему пределу равна 1 МПа.

В табл. 7.4 приведены параметры стандартных манометров на давления от 2,5 МПа до 100 МПа.

Таблица 7.4

Манометры на давления 2,5–100 МПа

Диаметр корпуса, мм	Класс точности	Верхний предел измерений, МПа								
		2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
60	1,5; 2,5; 4	+							–	
100	1; 1,5; 2,5	+								–
160	0,6; 1; 1,5	+								
250	0,4	+								–

7.5. ДИНАМОМЕТРЫ

Динамометры используются в ММ в качестве датчиков нагрузки. В настоящее время выпускается широкая гамма приборов на различные виды нагружения (на сжатие, на растяжение, универсальные), с различными способами присоединения к звену ММ и индикации нагрузки.

Чувствительным элементом динамометра является тензометр, регистрирующий деформацию воспринимающей измеряемую нагрузку специальной детали.

В зависимости от назначения, места расположения ММ и структуры мехатронной системы может быть подобран датчик с беспроводной передачей информации, такой как, например, показанный на рис. 7.11 динамометр *Dinafor LLZ2 TRANSTEL* с радиоканалом и *RS*-232 интерфейсом (Компания «Грузовая Оснастка», г. Москва).



Рис. 7.11. Динамометр *Dinafor LLZ2 TRANSTEL*

Ряд электронных динамометров сжатия ДОС-3-И включает в себя приборы с наибольшими пределами измеряемой нагрузки от 0,1 кН до 2 000 кН, причем дискретность отсчетного устройства для динамометра ДОС-3-01И(1) на 0,1 кН равна 0,02 Н, а для динамометра ДОС-3-2000И(6) на 2 000 кН — 500 Н («Вессервис», г. Санкт-Петербург).

Такова же ширина ряда динамометров сжатия АЦДС-И («Мегатонн», г. С-Петербург). Точность измерений весьма высокая. Так, цена деления динамометра АЦДС-01И-1 на 0,1 кН составляет 0,005 Н. В табл. 7.5 указаны технические характеристики динамометра АЦДС-2000/3И-1.

Таблица 7.5

Технические характеристики динамометра АЦДС-2000/3И-1

Параметр	Значение
Верхний предел измерения, кН	2 000
Цена деления, Н	100
Время отсчета, с	0,5
Относительная суммарная погрешность (для прибора первого класса), %	0,24
Безопасная перегрузка, %	150

Параметр	Значение
Максимально допустимая перегрузка, %	200
Размеры, мм: длина ширина	 300 120

Конрольные вопросы

1. Какое устройство называется датчиком?
2. Какие задачи решают датчики в ММ?
3. Что такое линейные датчики перемещений? Что такое угловые датчики перемещений?
4. В чем заключается принцип работы тахогенератора?
5. Поясните принцип работы фотоимпульсного датчика угловой скорости.
6. Какие устройства используются для измерения давления в гидросистемах?
7. Что является чувствительным элементом в динамометрах ДОС-3-И?

8. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

8.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В основу методики проектирования ММ положен *принцип синергетической интеграции*. Задача конструктора при синергетической интеграции состоит в том, чтобы не просто связать отдельные части в систему с помощью типовых соединений и преобразователей, но сделать конструктивные связи в мехатронном модуле взаимопроникающими и неразрывными. Большинство успешных решений в мехатронике базируется скорее на инженерном опыте и интуиции, чем на научной методологии. Добиться качественно новых характеристик позволяет современная концепция «*встроенного проектирования*», которая предполагает конструктивную интеграцию элементов модуля в едином корпусе.

Принятый подход к проектированию ММ предполагает совместный анализ функциональной, структурной и конструктивной моделей устройства. Целью проектирования ММ является преобразование исходных требований в конструкторскую реализацию и соответствующую документацию, по которой может быть изготовлен модуль, удовлетворяющий сформулированным показателям качества. Ниже рассматриваются в основном технические показатели, но при выборе структуры и конструкции ММ следует также учитывать экономические и эксплуатационные оценки качества.

Алгоритм проектирования ММ представлен на рис. 8.1.

Данный алгоритм предусматривает три основных этапа проектирования — последовательно выполняемые *функциональный*, *структурный* и *конструк-тивный анализ и синтез* ММ. Применяя процедуры функционально-структурного и структурно-конструктивного анализа, разработчик оценивает принимаемые решения, стремясь добиться высокого уровня синергетической интеграции элементов. Для использования методов автоматизированного проектирования формируют взаимосвязанные функциональную (*F-модель*), структурную (*S-модель*) и конструктивную (*C-модель*) модели ММ.

Конструирование ММ включает три основных этапа:

– выбор вариантов структурных решений модуля по его заданной функции и их функционально-структурный анализ (входной информацией для этого этапа проектирования является *F*-модель, а на выходе формируется *S*-модель ММ);

– структурно-конструктивный анализ конструкторских решений и построение *C*-модели ММ;

– конструкторская реализация выбранного варианта модуля с разработкой конструкторской документации.

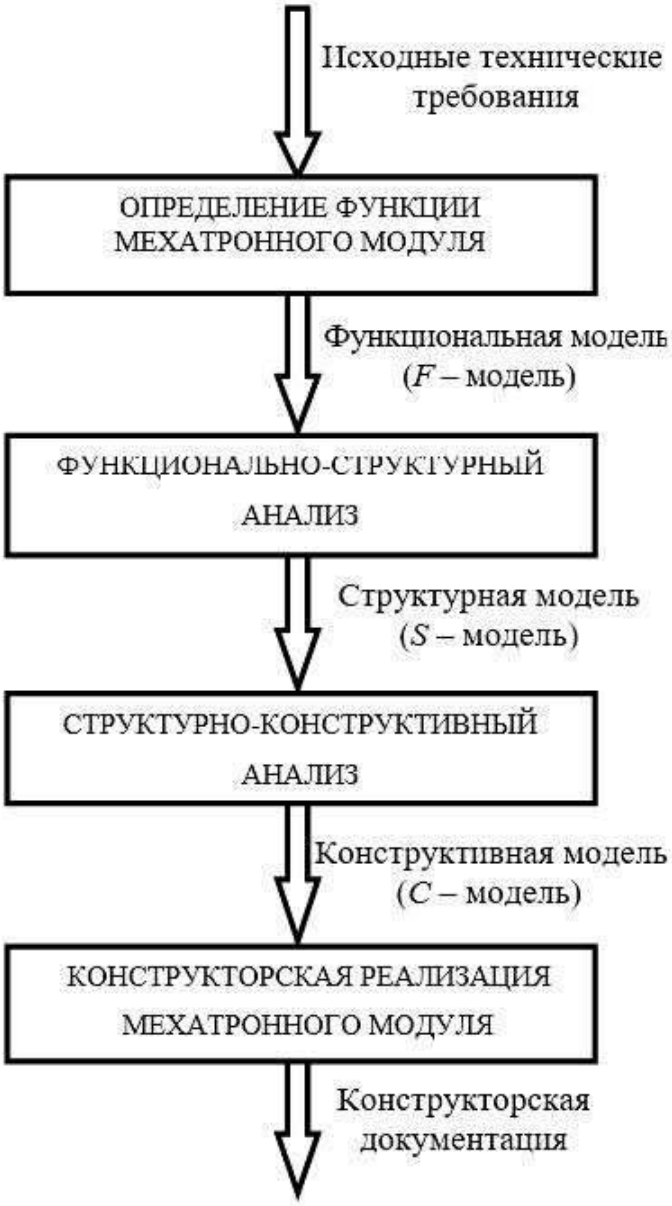


Рис. 8.1. Алгоритм проектирования мехатронного модуля

Таким образом, задача проектирования ММ заключается в нахождении наилучшего соответствия между заданной функцией и конструктивным исполнением.

Ключевой методологической идеей данного подхода является приоритет функции модуля над ее структурной организацией и конструктивным решением. В ММ заданные функциональные преобразования могут быть реализованы несколькими наборами структурных блоков, а эти блоки, в свою очередь, могут иметь различное конструкторское исполнение. Таким образом, при проектировании модуля его структура и конструктивное решение являются подчиненными по отношению к заданной функции.

8.2. ФУНКЦИЯ И СТРУКТУРА МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ

Известны два основных подхода к построению моделей сложных технических систем. Первый заключается в *функциональном* определении рассматриваемой системы через ее поведение по отношению к внешним объектам и внешней среде. Второй подход основан на *структурном* описании состава системы и связей между ее элементами. Исследование и оптимизация взаимосвязи между функцией и структурой системы лежит в основе функционально-структурного подхода, который соответствует первым двум этапам проектирования ММ (рис. 8.1).

На первом этапе проводят функциональный анализ ММ, результатом которого является построение функциональной модели.

Основная функциональная задача ММ заключается в преобразовании информации о программе движения в целенаправленное управляемое движение выходного звена.

Программа движения может быть задана управляющим компьютером как набор команд высокого уровня или, в случае дистанционного управления, человеком-оператором с помощью человеко-машинного интерфейса. Управляемое движение осуществляется механической подсистемой ММ, и его конечное звено взаимодействует с объектами внешней среды. Внешние воздействия должны эффективно отражаться ММ в процессе движения. Информационная обратная связь необходима для оценки текущего состояния ММ как объекта управления и внешней среды в режиме реального времени.

Обозначенная основная функция не является единственной. Некоторые дополнительные функции — реконфигурация системы, обмен сигналами и информацией с другим технологическим оборудованием, самодиагностика — также должны быть реализованы для эффективной и надежной работы ММ. Но именно выполнение функционального движения является основной мехатронной функцией, так как механическая составляющая взаимодействует с объектами работ и таким образом определяет поведение модуля во внешней среде.

В общем случае функциональная модель мехатронного модуля может быть определена как *информационно-механический преобразователь*.

Для физической реализации мехатронного информационно-механического преобразования необходим внешний энергетический источник. Пусть ММ имеет электрический привод. Тогда, очевидно, требуется источнок электроэнергии. Ввод соответствующих электроэнергетических преобразований дает F-модель ММ (рис. 8.2).



Рис. 8.2. Функциональная модель мехатронного модуля

Полученная *F*-модель в общем случае содержит семь базовых функциональных преобразователей, связанных энергетическими и информационными потоками.

Следует отметить, что электрическая энергия является только промежуточной энергетической формой между входной информацией и выходным механическим движением. Следовательно, электрическая подсистема отнюдь не является единственно возможной для выполнения мехатронной функции. Другие виды энергетических процессов (в частности, гидроэнергетические) также могут быть использованы для промежуточных преобразований и должны рассматриваться как альтернативные варианты на этапе концептуального проектирования. Выбор разработчиком ММ физической природы промежуточного преобразователя определяется возможностями технической реализации, исходными требованиями и особенностями его применения. В современной инженерной практике гидравлические, пневматические, химические и другие виды энергетических преобразователей применяются достаточно широко.

Итак, в любом ММ необходимо реализовать семь функциональных преобразований (рис. 8.2). Три из них называются *моноэнергетическими* (информационный, электрический и механический преобразователи), где входные и выходные переменные имеют одну и ту же физическую природу. Остальные четыре являются *дуальными* (двойственными), так как в них входные и выходные переменные принадлежат различным физическим видам. К этой группе относят информационно-электрический и электромеханический преобразователи, расположенные в *прямой цепи* функциональной модели, и параллельные электро-информационный и механико-информационный преобразователи в *цепи обратной связи*.

Структурная модель ММ должна отражать состав его элементов и связи между ними. В теории автоматического управления и электромеханике принято структурные модели графически представлять в виде блок-схем. Звенья обычно обозначают в виде прямоугольника с указанием входной и выходной переменных, а уравнения или характеристики записывают внутри него.

В качестве исходной структуры ММ рассмотрим традиционный электропривод с компьютерным управлением (*S*-модель, см. рис. 8.3). Для дальнейшего анализа в представленной структурной схеме выделим управляющую и электромеханическую подсистемы. При конструировании ММ особый интерес представляет исполнительная часть, входящая в состав электромеханической подсистемы.

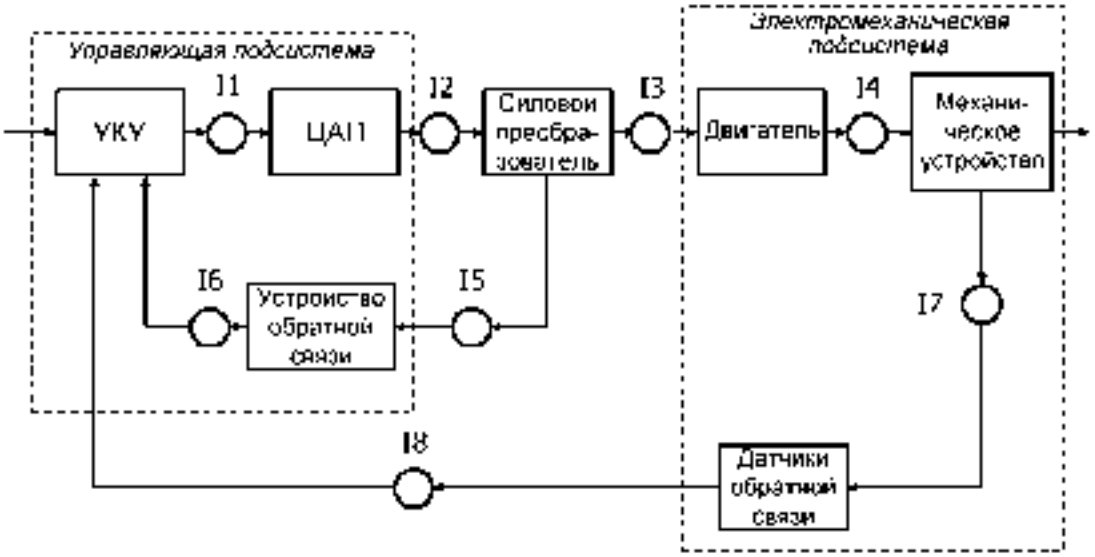


Рис. 8.3. Структурная модель электропривода с компьютерным управлением

S-модель электропривода (рис. 8.3) включает в себя следующие основные элементы:

– механическое устройство, которое реализует заданное управляемое движение и взаимодействует с внешними объектами (в модулях в качестве таких устройств применяют редукторы, вариаторы либо непосредственно используют рабочий орган, например, в ММ типа «*гонор-автодесс*»);

– управляемый электродвигатель (переменного или постоянного тока), который является электромеханическим элементом привода;

силовой преобразователь, обычно состоящий из усилителя мощности, широтно-импульсного модулятора (ШИМ) и трехфазного инвертора (для асинхронных двигателей);

– цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), реализующий функцию информационно-электрического преобразования;

– устройство обратной связи, которое используют для контроля текущих напряжений и токов в силовом преобразователе, а также управляющих функций (например, для организации контура регулирования момента, развиваемого приводом);

– датчики обратной связи по положению и скорости движения выходного звена механического устройства, выполняющие функции механико-информационного преобразования;

– компьютерное устройство управления движением, функциональной задачей которого является информационное преобразование (обработка цифровых сигналов, цифровое регулирование, расчет управляющих воздействий, обмен данными с периферийными устройствами);

– интерфейсные устройства, обозначенные на блок-схеме как *I*1-*I*8.

В зависимости от физической природы входных и выходных переменных интерфейсные блоки могут быть как механическими преобразователями движения, так и содержать электронные аппаратно-программные компоненты. Примерами механических интерфейсов являются передачи и трансмиссии, связывающие выходное механическое устройство с двигателем (интерфейс *I*4) и датчиками обратной связи (интерфейсы *I*7, *I*8).

Интерфейсные электронные устройства расположены на входах и выходах устройства компьютерного управления (УКУ) и предназначены для его сопряжения со следующими структурными элементами:

– цифро-аналоговым преобразователем (встроенный интерфейс *I*1) и далее с силовым преобразователем модуля (интерфейс *I*2);

– датчиками обратной связи (интерфейс *I*7); в случае применения сенсоров с аналоговым выходным сигналом соответствующие интерфейсы строятся на основе аналого-цифровых преобразователей (АЦП);

– устройствами обратной связи для контроля уровня электрических токов и напряжений в силовом преобразователе (для традиционного привода интерфейс *I*6 также использует стандартный АЦП).

8.3. СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ИНТЕГРАЦИЯ В МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЯХ

Сравнивая функциональную модель ММ (рис. 8.2) и структурную модель традиционного электропривода (рис. 8.3), можно сделать вывод о том, что суммарное количество основных и интерфейсных блоков в структуре электропри-

вода значительно превышает число необходимых функциональных преобразователей. Другими словами, можно говорить о *структурной избыточности* традиционного электропривода. Наличие избыточных блоков приводит к снижению надежности и точности технической системы, ухудшению ее массогабаритных и стоимостных показателей. Поэтому целесообразно стремиться к сокращению количества сепаратных структурных элементов (как основных, так и интерфейсных блоков) в системе. В идеальном для пользователя варианте модуль по рис. 8.2, приняв на информационный вход программу движения, должен выполнить целенаправленное управляемое движение с заданными показателями качества. При этом все проблемы интеграции в модуле механических, электронных и управляющих устройств должны быть решены разработчиком для всех стадий жизненного цикла, начиная со стадии проектирования системы и заканчивая ее эксплуатацией у конечного потребителя.

Синергетическая интеграция элементов при проектировании ММ основана на трех базовых принципах:

– реализация заданных функциональных преобразований минимально возможным числом структурных и конструктивных блоков путем объединения двух и более элементов в единые многофункциональные модули;

– выбор интерфейсов в качестве локальных точек интеграции и исключение избыточных структурных блоков и интерфейсов как сепаратных элементов;

– перераспределение функциональной нагрузки в ММ от аппаратных блоков к интеллектуальным (электронным и компьютерным) компонентам.

Практическая реализация принципов синергетической интеграции при проектировании позволяет обеспечить основные преимущества ММ по сравнению с традиционными машинами и добиться качественно новых показателей, в первую очередь по компактности конструкции, скорости и точности движений. Снятие с аппаратной («железной») части системы функциональной нагрузки и ее перенос на управляющую и электронную подсистемы придает ММ свойство гибкости, делает его способным к легкому приспособлению для решения новых технологических задач. Следует заметить, что интеграция предполагает не только аппаратное объединение элементов, но и организацию интегрированных информационных процессов в ИММ.

Синергетическую интеграцию в мехатронике осуществляют при проектировании двумя основными способами — функционально-структурной интеграцией и структурно-конструктивной интеграцией, которые объединяют в общий алгоритм проектирования ММ.

Задачей этапа *функционально-структурной интеграции* (ФС-интеграции) является поиск мехатронных структур, реализующих заданные функциональные преобразования с помощью минимального количества структурных блоков. ФС-интеграция направлена на выбор проектных решений, которые обеспечивают исключение некоторых основных блоков, а значит, и смежных с ними интерфейсов из структуры системы.

Примеры мехатронных проектных решений, основанные на способе ФС-интеграции элементов, приведены в табл. 8.1. Представленные решения основаны на совместном анализе *F*-модели ММ (рис. 8.2) и *S*-модели традиционного электропривода (рис. 8.3).

Таблица 8.1

ФС-интеграция элементов в мехатронном модуле

Мехатронное решение	**Функциональное преобразование**	**Исключаемые сепаратные элементы**	
		Основные блоки	**Интерфейсы**
Фотоимпульсный датчик обратной связи	Механико-информационное	Один датчик обратной связи	*I*7, *I*8
Вентильный высокомоментный двигатель	Электромеханическое и механико-информационное	Механическое устройство, сепаратные датчики обратной связи	*I*4, *I*7, *I*8
Интеллектуальный силовой преобразователь	Информационно-электрическое	Избыточное устройство обратной связи	*I*5, *I*6
Управляющие контроллеры на базе блоков FPGA	Электро-информационное	ЦАП	*I*1, *I*2

Первые два мехатронных решения относятся к электромеханической подсистеме модуля, следующие варианты интеграции можно реализовать в его управляющей подсистеме. При конструировании ММ наибольшее внимание уделяют решениям, направленным на упрощение механической части модулей и связанных с ней блоков и интерфейсов, которые реализуют электромеханическое и механико-информационное функциональные преобразования.

Первый вариант (табл. 8.1) предусматривает использование в обратной связи вместо двух отдельных датчиков положения и скорости только одного элемента — фотоимпульсного датчика (см. гл. 7), который позволяет получать

информацию и об угле поворота вала, и о его угловой скорости. Датчик выдает выходной сигнал в кодовой форме, что позволяет вводить информацию в УКУ без дополнительного АЦП, который был необходим для традиционных датчиков с аналоговым выходным сигналом (тахогенераторов, потенциометров и т.п.).

Интеллектуализацию фотоимпульсного датчика обеспечивают встроенными микропроцессорами, которые выполняют следующие основные функции: кодирование информации датчика, обнаружение ошибок измерения, масштабирование сигнала и передача текущего кода в контроллер движения по стандартному протоколу. Современная тенденция в создании фотоимпульсных датчиков заключается в объединении в едином сенсорном модуле конструктивных элементов (валов, подшипников), кодировочных дисков, фотоэлементов и микропроцессора.

Таким образом, использование фотоимпульсного датчика позволяет исключить из структуры традиционного привода один датчик обратной связи с его интерфейсом (*I*7), а также АЦП на входе УКУ (интерфейс *I*8).

Применение высокомоментного двигателя (второе решение в табл. 8.1) позволяет заменить исполнительную пару «*двигатель + преобразователь движения*» на один приводной элемент — двигатель. Этот способ ФС-интеграции означает исключение механического устройства и избыточного интерфейса I4 из структуры привода.

Ниже перечислены основные преимущества ММ с высокомоментными двигателями:

– снижение материалоемкости, компактность и модульность конструкции;

– повышение точностных характеристик привода благодаря отсутствию зазоров, кинематических погрешностей, упругих деформаций звеньев и т.д.;

– исключение трения в механической трансмиссии, что позволяет избежать нелинейных динамических эффектов, особенно на ползучих скоростях.

Для определения положения полюсов на роторе в конструкцию вентильного высокомоментного двигателя встраивают датчик положения. В исполнительных приводах информацию с этого датчика могут использовать и как сигнал обратной связи. Следовательно, применение вентильных двигателей со встроенными фотоимпульсными датчиками позволяет упростить не только механическую часть модуля, но и цепь обратной связи, так как разработчику не требуется вводить в конструкцию модуля сепаратные датчики положения и скорости.

Два примера применения способа ФС-интеграции к элементам управляющей подсистемы модуля приведены в табл. 8.1.

В состав ММ могут входить интеллектуальные силовые преобразователи (ИСП). Их строят на базе полупроводниковых приборов нового поколения. Типичными представителями этих приборов являются силовые полевые транзисторы (*MOSFET*), биполярные транзисторы с изолированным затвором (*IGBT*), запираемые тиристоры с полевым управлением (*MCT*). Новое поколение приборов отличается высоким быстродействием (для транзисторов *MOSFET* — 100 кГц), высокими значениями коммутируемых токов и напряжений (для *IGBT* предельная сила коммутируемого тока — до 1 200 А, предельное коммутируемое напряжение — до 3 500 В). Особенность ИСП состоит в том, что они содержат встроенные блоки микроэлектроники, предназначенные для выполнения интеллектуальных функций — управление движением, защита в аварийных режимах и диагностика неисправностей. Использование ИСП в составе ММ позволяет существенно снизить массогабаритные показатели силовых преобразователей, повысить их надежность при эксплуатации, улучшить технико-экономические показатели.

Использование контроллеров движения с блоками *FPGA* позволяет исключить ЦАП при компьютерном управлении двигателем. На выходе блоков *FPGA* сразу формируется широтно-модулированный сигнал, который имеет цифровое представление. При этом они обладают уникальным сочетанием очень высокой производительности (скорость вычислений соизмерима с аппаратными компонентами) с возможностью программирования как обычных микропроцессорных устройств.

Обобщая рассмотренные примеры, следует обратить внимание на то, что точками для ФС-интеграции являются структурные блоки, реализующие функциональные преобразования только дуального типа (см. третий столбец табл. 8.1). К этой группе относят информационно-электрический и электромеханический преобразователи, расположенные в прямой цепи *F*-модели ММ (рис. 8.2), и электро-информационный и механико-информационный преобразователи в цепи обратной связи.

Структурно-конструктивная интеграция (СК-интеграция) основана на анализе *S*-модели ММ, которая сформирована на этапе ФС-интеграции. Заданная структура модуля может быть реализована различными конструктивными решениями. СК-интеграция нацеливает разработчика на выбор проектных решений, которые обеспечивают исключение интерфейсов как сепаратных блоков путем встраивания их в отдельный корпус. При автоматизированном проектировании принятые решения представляют в виде *C*-модели (рис. 8.1).

Методическим ключом при поиске вариантов СК-интеграции является рассмотрение интерфейсных блоков *I*1–*I*8 в качестве локальных точек, где потенциально возможна СК-интеграция. Можно рекомендовать при проектировании опираться сразу на несколько точек интеграции.

Примеры ММ, основанные на способе СК-интеграции элементов, приведены в табл. 8.2. Представленные решения основаны на анализе структурных моделей мехатронных модулей, разработанных на предыдущем этапе, и традиционного электропривода (см. рис. 8.3).

Таблица 8.2

СК-интеграция элементов в мехатронном модуле

Мехатронные модули	**Функциональные преобразования**	**Встраиваемые элементы**	
		Основные блоки	**Интерфейсы**
Модуль движения	Электромеханическое и механическое	Двигатель, механическое устройство	*I*4
Мехатронный модуль движения	Электромеханическое, механическое и механико-информационное	Двигатель, механическое устройство, датчик обратной связи	*I*4, *I*7, *I*8
Интеллектуальный мехатронный модуль	Информационное, информационно-электрическое, электрическое, электромеханическое	Управляющий контроллер, силовой преобразователь, двигатель	*I*1, *I*2, *I*3, *I*5, *I*6

Интеграция элементов в ММ является ведущей тенденцией при создании современных машин и систем, так как позволяет добиться качественно нового уровня по основным техническим показателям — скорости и точности движения, компактности конструкции и способности машины к быстрой реконфигурации. Практическое воплощение этой тенденции в машинах сегодняшнего дня зависит от эффективности взаимодействия конструктора, который выдвигает новые интеграционные идеи, и технолога, реализующего предложенные проектные решения в автоматизированных технологических процессах.

8.4. ОСНОВЫ МЕТОДИКИ КОНСТРУИРОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

8.4.1. Техническое задание

При получении технического задания (ТЗ) на конструирование нового ММ конструктор ищет в задании возможно более полную и строгую формулировку той конечной цели, которая перед ним ставится. Если создаваемый ММ является частью более общей мехатронной системы, то конечная цель, которая ставится перед конструктором, должна быть сформулирована на основе знания места и роли модуля в системе. В этом случае целевое назначение ММ определяется целевым назначением мехатронной системы.

Необходимость критического подхода к формулировке цели является одной из особенностей стоящих перед конструктором задач.

Прежде всего конструктор должен тщательно изучить принципиальную схему модуля в том случае, если она приведена в ТЗ. Степень приближения принципиальной схемы к реальной конструкции может быть самой различной.

Принципиальная схема анализируется, оценивается и корректируется с точки зрения возможностей ее конструктивной реализации. Следует стремиться усовершенствовать схему в направлении *интеграции*, т.е. объединения частей и уплотнения их функциональной нагрузки. Очень часто множество независимых от конструктора проблем как научного, так и технического характера ограничивают такие стремления. Чем совершеннее схема, тем меньше возможностей у конструктора улучшить ее в указанном направлении.

При изучении предложенной принципиальной схемы конструктор должен проанализировать ее с точки зрения надежности. Оценка надежности принципиальной схемы может производиться по ряду факторов: оценка возможностей резервирования, использование тех или иных готовых элементов и стандартизированных деталей, обеспечение безопасности обслуживающего персонала и т.д. Схема может быть проанализирована по критериям «*цены реализации отдельных ее элементов*», технологичности, минимизации габаритов и массы и др.

Технические требования, приведенные в ТЗ, можно назвать *исходными* техническими требованиями. В наиболее общем случае перечень исходных технических требований охватывает широкий круг вопросов. В нем приводятся «*входные*» и «*выходные*» характеристики ММ и основные параметры принципиальной схемы. Затем дается описание тех наиболее характерных внешних воздействий, которые могут иметь место при эксплуатации, а также вызванные этими воздействиями допустимые отклонения от нормальных режимов работы.

Наконец, перечисляются меры, обеспечивающие удобство работы оператора, обслуживающего персонала, потребителя. Эти требования составляют лишь часть того материала, который должен учитываться конструктором при последующей реализации задания. Поэтому до начала собственно конструирования ММ конструктор должен дополнить исходные требования ТЗ новыми требованиями, выявленными им на основе самостоятельного анализа взаимовоздействий модуля с окружением, а также исходя из соображений производственного, технологического и экономического характера. Дополненный перечень технических требований должен давать конструктору всестороннее и достаточно четкое представление о процессе функционирования готового ММ в реальных условиях.

Изучение технологических возможностей реализации ТЗ заключается в оценке возможности выполнения задания, а также реализации тех дополнительных требований, накопление и формирование которых происходит уже на данном этапе. Конструктор решает вопрос сравнительной сложности изготовления применительно не только ко всему модулю в целом, но и к отдельным узлам и даже деталям. Рассматриваются возможности производственной базы, технологии изготовления деталей, сборки, регулировки, настройки и т.д. Конструктор должен четко представить себе прохождение ММ через заводские цеха.

8.4.2. Анализ взаимосвязей мехатронного модуля с внешним окружением

Под *внешним окружением* надо понимать всю ту материальную среду, которая, находясь вне ММ, оказывает на него какие-либо воздействия или испытывает воздействия с его стороны.

Входными воздействиями называют такие воздействия на модуль, которые необходимы для его функционирования, т.е. для формирования таких *выходных воздействий* (параметров), ради которых и создается ММ. Все остальные взаимосвязи мехатронного модуля с внешним окружением в большинстве случаев необязательны и нежелательны. Не всегда бывает очевидным, какие воздействия принять за входные, какие за выходные, не всегда входы и выходы могут считаться однонаправленными, не всегда их легко отделить от остальных воздействий, не вводя те или иные условности.

Широта охвата картины взаимодействий ММ с внешним окружением зависит от располагаемой информации и потраченного на работу времени. Поэтому часть существенных для конструктора взаимосвязей иногда может остаться необнаруженной или недостаточно раскрытой ввиду ограниченности возможности получения информации и времени.

Недостаточная полнота раскрытия взаимосвязей может повлиять прежде всего на надежность будущего модуля. Не упустить из виду ни одного существенного воздействия — главное в рассмотрении взаимосвязей окружения с ММ, если к последнему предъявляются высокие требования по надежности. Анализ взаимосвязей должен вестись направленно и избирательно. Конструктор должен уметь отбросить излишние подробности, ненужные связи и концентрировать свое внимание на существенных.

8.4.3. Разработка технических требований

В конструкторских задачах путь от анализа взаимосвязей до четко сформулированных технических требований к ММ, необходимых конструктору, может быть более сложным, чем рассмотренный выше. Этот путь может проходить через такие стадии создания ММ, как научно-исследовательская разработка, моделирование, промежуточное макетирование, а также может сопровождаться расчетными и экспериментальными работами, далеко не всегда выполняемыми при участии конструктора. В перечне технических требований даются уже не сами связи, а технические характеристики ММ и параметры, отражающие условия его эксплуатации.

Технические требования можно разделить на четыре группы.

Первая группа: требования, содержащие ограничения геометрического и конструктивного характера. Пример формулировки: предельное отклонение межосевого расстояния ± 0,5 мм.

Вторая группа: требования, выраженные при помощи технических или физических понятий, записанные в виде чисел с размерностями. Пример формулировки: сила сопротивления на выходном звене не более 100 Н.

Третья группа: требования, выраженные словесно, не включающие в себя ни понятий, определенных количественно, ни геометрических ограничений в конструкции. Пример формулировки: устройство должно быть быстросъемным.

Четвертая группа: требования, сформулированные при помощи сложных понятий или математических зависимостей. Пример формулировки: для данного конструируемого устройства распределение атмосферного давления в рабочем диапазоне высот следует принимать согласно МСА (международной стандартной атмосферы).

Первая группа требований значительно пополняется в результате выявления ограничений, связанных с местом установки конструируемого ММ.

Вторая группа требований является в значительной степени результатом количественного отображения взаимосвязей ММ с внешним окружением и особенностей принципиальной схемы. Конструктивная реализация требований, выраженных при помощи четких технических понятий, определенных количественно (таких, например, как передаточное отношение), может быть осуществлена различным образом. Преимущества такой формы написания требований очень велики, так как она не несет в себе неопределенности и служит средством объективной проверки правильности конструкции. Все сказанное относительно второй группы требований можно отнести к четвертой группе.

Следует особо остановиться на третьей группе требований. Словесная форма написания технических требований в большинстве случаев свидетельствует о незаконченности процесса формализации реальной физической картины. Иногда она порождена отсутствием информации о количественной стороне тех или иных взаимосвязей или незнанием сущности каких-либо процессов в системе *модуль — окружение*. Нередко словесная формулировка посредством весьма общих понятий объединяет множество нераскрытых связей. Пример такой формулировки: «Мехатронный модуль должен быть удобным в эксплуатации, при монтаже и демонтаже».

Конструктор, уточняющий и дополняющий ТЗ для себя, должен расшифровать такой пункт, рассмотрев наиболее существенные взаимосвязи между ММ и обслуживающим персоналом. Но это не значит, что следует стремиться к наиболее полной формализации всех без исключения технических требований.

Степень необходимой формализации определяется, с одной стороны, трудностями ее осуществления, с другой — требованиями последующих этапов конструирования. Процесс реализации требований в конструкции сопровождается обратными взаимодействиями на технические требования. Для осуществления рационального процесса выполнения требований конструктор должен иметь возможность в допустимых пределах варьировать заданными параметрами. Важно поэтому в требованиях отражать не только номинальные, но и предельные значения закладываемых величин.

Требования к ММ не могут быть сформулированы, если общее направление конструирования не выбрано. Вопрос «что делать?» неотделим при конструировании от вопроса «как делать?» Законченный перечень технических требований всегда отражает степень ясности представлений конструктора о выбранном направлении работы.

8.4.4. Предварительное конструирование основных частей мехатронного модуля

Стремление конструктора к улучшению компоновки ММ посредством объединения отдельных частей, несущих разные функции, сдерживается рядом факторов и является почти всегда нелегкой задачей. В результате анализа принципиальной схемы и изучения технических требований выделяют несколько крупных частей, выполняющих различные функции, и приступают к собственно конструированию каждой части будущего изделия. Каждая составная часть должна удовлетворять определенной группе требований перечня. При этом конструктору наряду с имеющимися техническими требованиями необходимо учесть и дополнительные, не входящие в первоначальный перечень, но отражающие связи рассматриваемой части с другими частями ММ.

Если конструктор сумел для каждой составной части отобрать несколько наиболее удачных эскизов конструктивных подвариантов, то, сочетая различные подварианты различных частей, он получает возможность оценить возникающие варианты компоновки всего модуля по некоторым заранее выбранным критериям и отобрать наиболее оптимальные варианты, приблизившись тем самым к решению задачи. Такова примерная схема перехода от технических требований к первоначальным эскизным решениям компоновки ММ в целом.

Найденные подварианты каждой из частей на самых первых порах поиска не сопоставляют друг с другом и не слишком тщательно проверяют на соответствие техническим требованиям. Конструктор сознательно оттягивает стадию сравнения подвариантов и отбора наилучших, так как отдать предпочтение какому-либо из подвариантов означает в какой-то степени уже лишить себя свободы дальнейшего поиска, а вместе с тем и возможностей отыскать иные, лучшие решения.

В процессе поиска первоначальных подвариантов создание самостоятельных комбинаций из общеизвестных и присущих только данной конструкции деталей сочетается с заимствованием не только готовых узлов, но и с нахождением области их поиска.

Область ближайшего поиска вариантов — это те или иные источники информации, хранящие и систематизирующие накопленный опыт конструирования сходных устройств. Здесь и чертежно-техническая документация, и проектные материалы, и результаты испытаний, и научно-технические отчеты, и специализированная техническая литература.

Область дальнего поиска вариантов безгранична и неопределенна. Оригинальные конструктивные решения могут быть найдены и вокруг нас, в мире привычных вещей, и в заводских цехах, и в мире живой природы.

Процесс предварительного конструирования характеризуется, как правило, своей незавершенностью, причем степень этой незавершенности может быть самой различной для отдельных частей разных ММ.

Рассматриваемый этап предварительного конструирования знаменует начало непрерывной, непрекращающейся до окончания конструирования работы по обеспечению надежности ММ. Выбрав надежность в качестве важнейшего критерия рациональности создаваемой конструкции, нужно оценить по этому критерию каждый из этапов. Переход от принципиальной схемы к первым конструктивным эскизам основных частей означает переход от идеализированных элементов к реальным деталям. Наибольшие трудности такого перехода связаны с недостаточно глубоким анализом изменений в кинематике и динамике, возникающих при конструктивной реализации схемы, построенной из идеализированных элементов. Нераспознанные, неправильно рассчитанные или не принятые во внимание силы инерции, трения, упругости в отдельных звеньях кинематической цепи, а также кинематическая неопределенность составляют характерный класс причин, обусловливающих недостаточную надежность будущего ММ.

При изучении семейств подвариантов раскрываются их качества, так или иначе оцениваемые с точки зрения надежности, и, наоборот, подход к анализу семейств с позиций надежности помогает находить новые и лучшие подварианты конструкции частей модуля.

8.4.5. Разработка вариантов эскизной компоновки мехатронного модуля

Поиск вариантов компоновки как основных частей, так и ММ в целом сопровождается *эскизированием*. Эскиз состоит из небольшого числа линий, изображающих лишенную подробностей конструктивную схему и лишь иногда — те ее части, которые поясняют и развивают основную конструктивную идею. Несовершенство эскизирования искупается быстротой вычерчивания. Отобранные варианты нуждаются в проверке посредством масштабного вычерчивания, которое также не должно быть подробным.

При компоновке необходимо видеть на создаваемом чертеже не только то, что там изображено, но также и то, что будет нанесено на этот чертеж впоследствии.

Полнота информации о *месте установки ММ* является чрезвычайно важным условием успешного решения задачи компоновки. Если конструктору не ставят никаких ограничений, касающихся места установки модуля, то он (конст-руктор) чувствует себя свободнее и может искать более оптимальные решения. Дело обстоит значительно сложнее, если данные о месте установки безусловно важны, но конструктор не располагает ими. Подобная ситуация может возникнуть при создании ММ для еще не спроектированной мехатронной системы.

Недостаточность информации о месте установки ММ требует способности представлять его обобщенно, а конструкции придавать качества, обеспечивающие возможность установки модуля на любом объекте. Иногда удается придать подобную приспособляемость ММ к разным мехатронным системам за счет небольшого количества переходных деталей, выполняемых каждый раз по-новому.

Основа *предварительной эскизной компоновки* ММ может быть самой различной: удачно найденный физический принцип, рациональное технологическое решение или даже способ удешевления устройства. Процесс подгонки частей друг к другу начинается с поисков удачного сочетания каких-либо двух частей (в большинстве случаев это двигатель и преобразователь движения). Некоторые варианты отбрасываются сразу. Сочетание выбранных вариантов двух частей, взятое за основу, выдерживает первое испытание, если удается на этой основе удачно подогнать друг к другу все остальные части модуля (тормозные устройства, датчики положения и т.д.). Перебирать сочетания подвариантов без какого-либо плана и метода нерационально. На первых порах перебор обычно носит беспорядочный характер и лишь постепенно приобретает направленность. Нередко по мере прорисовки ММ становится все труднее и труднее реализовать в конструкции последующие требования. В этих случаях следует своевременно остановиться, чтобы предпринять поиски другой основы его компоновки.

По мере просмотра вариантов, по мере того как безмасштабные прикидки уточняются масштабными прорисовками, конструктору обычно удается отыскать закономерности, которые в состоянии играть роль первоначальных критериев оценки вариантов компоновки. К таким критериям могут быть отнесены такие факторы, как *простота сочленений основных частей, совмещение функ-*

ций и т.п. То, что не удавалось конструктору при первом знакомстве со схемой, может увенчаться успехом на настоящем этапе в процессе перебора вариантов эскизированием и масштабными прикидками.

Смысл понятия *цена конструктивной реализации параметров* заключается в том, что различные варианты выполнения технического требования осуществляются посредством неодинаковых «затрат» массы и располагаемого пространства, различной степенью усложнения отдельных деталей и всего ММ в целом, ценой появления больших или меньших технологических трудностей. Поэтому понятие цены конструктивной реализации параметров принимает вполне определенный смысл и может приобрести чрезвычайную практическую важность. Так, например, иногда удается выразить отдельные параметры технических требований в единицах массы создаваемого модуля, и конструктор получает выгодную для него возможность количественной оценки наиболее существенных параметров.

В плотно компонуемых ММ почти любые локальные изменения массогабаритных параметров отдельных деталей распространяются на все устройство в целом. В этих условиях от степени полноты реализации одного какого-либо требования могут зависеть, и существенно, габариты и масса всего ММ.

Знание цены конструктивной реализации основных технических параметров позволяет конструктору в ходе компоновки осуществлять рациональное их перераспределение. Данный критерий является одним из основных движущих факторов обратного воздействия на технические требования со стороны формирующейся конструкции.

8.4.6. Чертеж эскизной компоновки

Эскизная компоновка выражает лишь основную конструктивную идею ММ, чертеж эскизной компоновки раскрывает эту идею более полно. В эскизной компоновке реализована лишь предварительно отобранная часть технических требований без подробного рассмотрения возможностей будущей реализации остальных требований. Чертеж эскизной компоновки учитывает гораздо большее количество требований, и именно поэтому основная идея в нем если и неизменна по сравнению с идеей эскизной компоновки, то, во всяком случае, увязана со всеми этими требованиями. Эскизная компоновка может сочетать в себе первую масштабную компоновку с безмасштабными набросками. Чертеж эскизной компоновки, как правило, выполнен целиком в масштабе. Но, несмотря на большую полноту и масштабность, это еще далеко не чертеж окончательной компоновки.

Важное обстоятельство, отличающее разработку чертежа эскизной компоновки от создания первоначального эскиза, — необходимость определенной последовательности в прочерчивании отдельных узлов. В первую очередь наносят на чертеж контуры узлов с наибольшими габаритами (двигатель, преобразователи движения), расположенных в наиболее стесненных зонах и не дающих конструктору возможностей для варьирования их конфигурацией, ориентацией и местоположением. Удачное размещение этих узлов на чертеже дает конструктору уверенность в том, что остальные узлы (датчики положения, тормоза и т.п.), которые будут нанесены в дальнейшем на чертеже окончательной компоновки, существенно не ухудшат созданную компоновку. Каждый наносимый на чертеже узел накладывает на последующие узлы конкретные ограничения, поэтому от очередности вычерчивания зависит не только рациональность процесса создания компоновки, но и форма, в которую она выливается.

На данном этапе конструктор должен убедиться в том, что выбранный им вариант чертежа эскизной компоновки близок к оптимальному. Конструкция может заключать в себе достаточно элементов для удовлетворения требованиям, но не все элементы могут быть для этой цели необходимыми. Для выполнения условия *необходимого и достаточного* следует проверить конструкцию на *избыточность*, т.е. попытаться найти и устранить все то, что является лишним. Все лишнее, не являющееся необходимым в конструкции, можно представить себе в виде *запасов* и подразделить на две группы: запасы по параметрам технических требований на ММ и запасы по параметрам самой конструкции, не связанные с техническими требованиями непосредственно, в первую очередь излишние запасы прочности и жесткости.

Запасы по любому *параметру технических требований*, реализованные в конструкции, свидетельствуют об отклонении создаваемого конструктивного варианта от иного, более рационального. По мере введения масштаба, по мере детализации чертежа эскизной компоновки и перехода к чертежу окончательной компоновки уничтожение запасов первой группы становится все более действенным средством улучшения компоновки и конструкции.

Пустоты в конструкции, свидетельствующие о нерациональности компоновки, можно рассматривать в качестве запасов по располагаемому пространству. Наличие таких запасов говорит о недоиспользовании критерия минимизации габаритов.

Пустоты внутри ММ можно исключить перекомпоновкой частей. Этим достигается уменьшение габаритов. Иногда выгодно, сохранив габариты модуля, использовать пустоты для конструктивных комбинаций, более полно удовлетворяющих каким-либо другим требованиям, например, точности, виброустойчивости, удобству работы оператора и т.п.

Запасы по параметрам геометрического характера (например, по угловым и линейным перемещениям движущихся частей) легко обнаружить по чертежу, чего нельзя сказать о запасах по таким параметрам, как, например, мощность на выходе или точность отработки угла поворота. При поиске скрытых запасов конструктор не должен забывать и о принципиальной схеме, так как при переходе от нее к конструкции особенно легко допустить избыточность.

Следствием снижения запасов по жесткости или прочности (запасы по *параметрам самой конструкции*) отдельных частей ММ является снижение их масс. В реальной конструкции, где все взаимосвязано, уменьшение габаритов и масс отдельных частей вызывает далеко идущие последствия. В частности, снижение массы, сопровождаемое снижением жесткостных характеристик каких-либо деталей, может в то же время сопровождаться улучшением других жесткостных характеристик, существенных для нормального функционирования модуля в целом. При этом может быть получено значительное повышение надежности.

С величиной различного рода запасов связан выбор типоразмеров готовых изделий, входящих в конструкцию ММ. Так, например, масса и размеры двигателя определяются развиваемой им мощностью. Уменьшение потребной мощности за счет снижения каких-либо запасов в модуле позволяет перейти к соседнему по шкале типоразмеров — меньшему — двигателю. Но такой скачкообразный с точки зрения массы и габаритов переход почти всегда открывает новые возможности для лучших вариантов компоновки. Нередко случается, что компоновка приобретает совершенно иной вид, становится более рациональной. Дальнейшее конструирование ведется на новом «*уровне рациональности*» компоновки, при котором уплотнение функциональной нагрузки частей, возможности их подгонки и частичной интеграции, а также выгоды от снижения запасов обеих групп реализованы в максимальной степени.

Уменьшение запасов второй группы является нелегкой задачей, требующей тщательных расчетов и знания технологических возможностей сегодняшнего дня.

8.4.7. Компактность конструкции

Наиболее очевидная возможность уплотнения конструкции ММ — сближение его частей, т.е. уменьшение расстояния между ними. Такой путь связан с рядом трудностей, возникающих по мере уменьшения зазоров. Даже определение величин зазоров между сближаемыми частями при сложной их конфигурации является трудоемкой работой. Неизмеримо большие трудности возникают в производстве при изготовлении деталей с жесткими допусками и их сбор-

ке. Не следует забывать, что чрезмерное уменьшение зазоров может по ряду причин понизить надежность конструкции (например, из-за температурных деформаций).

Чем труднее протекает процесс сближения частей, тем чаще конструктор возвращается к рассмотрению ТЗ, пытаясь переосмыслить требования, послужившие причиной подобных затруднений. Это особенно относится к тем случаям, когда какое-либо «узкое» место препятствует значительному сжатию всей конструкции. Стремление «расширить» такое «узкое» место способствует усилению и углублению обратных воздействий на исходные требования.

Иногда становится возможным осуществлять такие изменения в технических требованиях, которые ведут к существенному улучшению компоновки, не сказываясь сколько-нибудь отрицательно на целевых функциях и эксплуатационных характеристиках модуля.

Методика отбора требований, наиболее важных для компоновки, предполагает необходимость той или иной корректировки первоначально скомпонованного ММ, т.е. возврат от текущего этапа, на котором реализуется очередное требование, к предыдущему. Такова суть так называемого *шагового процесса с возвратом*. Выбор каждого шага производится с таким расчетом, чтобы чертежная работа, вызванная корректировкой результатов, свелась к минимуму.

Представление о компоновке ММ как о шаговом процессе с возвратом основывается, с одной стороны, на нестрогой постановке задач, допускающей варьирование исходными данными в ходе решения, с другой стороны, на ограниченности возможностей человека в отношении оптимальной конструктивной реализации множества взаимосвязанных переменных.

8.4.8. Чертеж окончательной компоновки

Своеобразие этапа в его двойственности: с одной стороны, чистовым вычерчиванием чертежа окончательной компоновки (чертежа общего вида или сборочного чертежа ММ) подводится итог проделанной ранее длительной работы; с другой стороны, это не просто вычерчивание, это конструирование, притом начинающееся с самого начала, с самой первой линии и заканчивающееся созданием чертежа, практически полностью обеспечивающего этап деталировки.

Приступая к чистовому выполнению чертежа окончательной компоновки, конструктор тем самым решается на отказ от дальнейших поисков, от сравнения и отбора вариантов. В то же время вся методика вычерчивания чертежа должна оставлять конструктору максимальную свободу варьирования на протяжении всего хода работы.

На первых порах элементы конструирования можно исключить из графической работы над чертежом окончательной компоновки.

Перенос на лист без больших изменений чертежа эскизной компоновки дает своеобразный костяк — основу чертежа будущей конструкции модуля. Костяк чертежа строится в нескольких проекциях. Если чертеж эскизной компоновки оказывается непригодным для такого построения, то это является свидетельством его недоработанности. Очередность нанесения на чертеже окончательной компоновки элементов костяка в основном совпадает с очередностью нанесения тех же элементов на чертеже эскизной компоновки. Неудачный выбор последовательности вычерчивания элементов костяка окончательной компоновки может создать значительные трудности при подробной конструктивной реализации того или иного узла.

Сложность, многодетальность, действие критериев минимизации массогабаритных параметров, критериев надежности требуют строгой последовательности чистового вычерчивания чертежа окончательной компоновки.

После вычерчивания костяка чертежа конструктор получает возможность сосредоточить усилия на конкретной разработке отдельных узлов и деталей. При их конструкторской проработке не только проверяется правильность допущений, принятых на предыдущих стадиях, но до некоторой степени исправляются и ошибки компоновки.

Детализацию узлов и деталей необходимо вести от средней части к периферии, чтобы избежать *рыхлости* или чрезмерной сжатости в радиальных направлениях. В первую очередь следует наносить на лист элементы, однозначно определившиеся по форме и расположению, чтобы воспользоваться вносимыми ими ограничениями, а также не откладывать проработку узлов и деталей с невыявленными габаритами, чтобы иметь возможность своевременно скомпенсировать увеличение их габаритов за счет уплотнения соседних.

Уменьшение числа деталей в ММ часто достигается за счет усложнения характера движения звеньев. Простейшим примером может служить планетарный редуктор. Ценой усложнения характера движения сателлита удается уменьшить число зубчатых пар (по сравнению с обычным зубчатым редуктором).

Следует отметить, что вопросы, касающиеся способов изготовления деталей, удобства сборки изделия, регулировки и юстировки, взаимозаменяемости, унификации, использования оснастки и инструмента, назначения допусков, выбора материалов, покрытий, термообработки, чистоты обработки поверхностей, способов смазки и т.п., требуют решения именно в процессе вычерчивания набора деталей на чертеже окончательной компоновки.

К числу вопросов, решение которых практически полностью относится к этапу окончательной компоновки, относится обеспечение технологичности сборки как одного из слагаемых общего критерия технологичности модуля.

Из множества рекомендаций, касающихся сборки и разборки ММ, одна имеет общий характер: следует стремиться по возможности располагать детали таким образом, чтобы при разборке модуля каждая последующая деталь могла быть демонтирована через пространство, освобождающееся при удалении предыдущей детали.

По мере уточнения конфигурации деталей возрастают возможности оценки надежности их функционирования расчетным путем. Наличие прорисованного набора деталей и узлов позволяет по-новому проанализировать взаимосвязи с окружением не всего ММ в целом, а каждого узла, каждой детали в отдельности.

При отработке набора деталей на чертеже окончательной компоновки следует тщательно проверить, всюду ли, где возможно, применены нормализованные или типовые элементы.

Оптимальной с точки зрения обеспечения надежности является такая конструкция, в которой применены типовые, хорошо освоенные в производстве блоки, модули, узлы, детали. Сложность процесса детализации вызывает постоянное опасение преждевременности проработки того или иного узла или детали. Поэтому симметричные узлы и детали бывает выгодно вычерчивать лишь с одной стороны от оси симметрии, так как в процессе детализации может возникнуть несколько различных вариантов их конструкции. Той же постепенностью, осторожностью в нанесении новых линий характеризуется методика вычерчивания на чертеже окончательной компоновки крепежных деталей (болтов, винтов, гаек, шайб, штифтов и т.п.). Пока форма свинчиваемых деталей окончательно не определилась, крепежные детали представляют на чертеже лишь их осевыми линиями. Затем производится работа по объединению крепежных деталей с целью сокращения их типоразмеров, и после этого каждую крепежную деталь вычерчивают по стандартам.

Процесс обводки деталей, а также их штриховки должен быть направленным. Последовательность обводки чертежа окончательной компоновки в основном совпадает с последовательностью его вычерчивания. Исходя из стремления оставить возможность к максимальной свободе варьирования и своевременной корректировке чертежа не следует прибегать к штриховке до окончания обводки.

Процесс создания чертежа окончательной компоновки — это не только дальнейшее развитие, но и проверка компоновочного решения. Уверенность в рациональности принятой компоновки возникает по завершении реализации

большинства заданных требований в конструкции. Именно в этот момент заканчивается формирование конструкции, в которой отражена и принципиальная схема, и требования технического задания, и взаимосвязи модуля с окружением, и критерии рациональности.

8.4.9. Типы и стадии разработки конструкторской документации

Конструкторский документ (КД) в зависимости от его назначения отдельно или в совокупности с другими документами определяет состав и устройство изделия и содержит необходимые данные для его разработки, изготовления, контроля, приемки, поставки, эксплуатации и ремонта.

В зависимости от содержания КД подразделяют на два типа:

– графические КД — документы, содержащие графическое изображение изделия и (или) его составных частей, устройства и принципа работы, внутренних и внешних связей его функциональных частей;

– текстовые КД — документы, содержащие в основном текст сплошной или разбитый на графы; в виде иллюстраций могут содержать также и графический материал.

В зависимости от стадии разработки КД подразделяют на проектные (техническое предложение, эскизный проект, технический проект) и рабочие (графические: чертежи деталей, сборочные чертежи; текстовые: спецификации на сборочные единицы, ведомости покупных изделий).

Номенклатура КД, выпускаемых на конкретный объект, полностью указана в ЕСКД. Стадии разработки КД даны в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Стадии разработки конструкторской документации

Стадии разработки	Литера документа	Дополнительные указания
Для серийного и массового производства		
Разработка технического предложения	П	Литера проставляется при разработке документов
Разработка эскизного проекта	Э	
Разработка технического проекта	Т	–
Разработка документации для изготовления опытного образца (опытной партии)	–	

Стадии разработки	Литера документа	Дополнительные указания
Корректировка результатов по результатам изготовления и предварительных испытаний опытного образца (опытной партии)	О	Литера присваивается после окончания корректировки
Корректировка документации по результатам повторного (при необходимости) изготовления и приемочных испытаний опытного образца (опытной партии)	$О_1$	
Корректировка документации опытного образца по результатам изготовления и испытаний установочной серии изделий	А	Литера присваивается после окончания корректировки и отработки (оснащения) технологического процесса
Для единичного производства		
Разработка эскизного проекта	Э	Литера присваивается при разработке документов
Разработка технического проекта	Т	
Разработка документации для изготовления изделия	Е	
Корректировка документации по результатам изготовления и испытания изделия	$Е_1$	Литера присваивается после окончания корректировки
Примечание. Допускается не присваивать литеру конструкторским документам, выполненным в виде эскизов. Литерой полного комплекта КД изделия следует считать низшую из литер, указанных в документах, входящих в комплект. Литера полного комплекта документов изделия должна быть указана в основной надписи его спецификации		

Техническое предложение — совокупность конструкторских документов, которые должны содержать технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки документации на изделие на основании ТЗ и различных вариантов возможных решений изделия, сравнительной оценки решений с учетом конструкторских и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и существующих изделий и патентные исследования.

Техническое предложение разрабатывают с целью выявления дополнительных или уточненных требований к изделию (технических характеристик, показателей качества и др.), которые не могли быть указаны в ТЗ, и это целесообразно сделать на основе предварительной конструкторской проработки и анализа различных вариантов изделия.

Техническое предложение является первым этапом компоновки изделия, в результате которого выявляют относительное расположение деталей и габариты изделия; после рассмотрения и утверждения служит основанием для разработки эскизного (технического) проекта.

Эскизный проект — это совокупность конструкторских документов, содержащих принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе работы изделия, а также данные, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры разрабатываемого изделия.

Эскизный проект разрабатывают с целью установления принципиальных (конструктивных, схемных и др.) решений.

Чертеж изделия на стадии эскизного проекта представляет собой дальнейшую разработку первого этапа компоновки и должен включать 2–3 проекции, а также дополнительные виды, разрезы и сечения.

После рассмотрения и утверждения эскизный проект служит основанием для разработки технического проекта или рабочей конструкторской документации.

Технический проект — совокупность конструкторских документов, которые должны содержать окончательные технические решения, дающие представление об устройстве разрабатываемого изделия, и исходные данные для дальнейшей разработки КД.

При необходимости технический проект может предусматривать разработку вариантов отдельных составных частей изделия. Выбор оптимального варианта в этих случаях осуществляется на основании испытаний опытных образцов изделия.

Технический проект, содержащий *чертеж общего вида*, ведомость технического проекта, пояснительную записку, дает полное и окончательное представление о конструкции, взаимодействии составных частей, эксплуатационно-технических характеристиках изделия и поясняет принцип его работы.

На чертеже общего вида должны быть:

а) изображены виды, разрезы и сечения изделия, нанесены надписи и текстовая часть, необходимые для понимания конструктивного устройства изделия, взаимодействия его составных частей и принципа работы;

б) указаны наименование (если возможно, то и обозначение) составных частей изделия, для которых объясняется принцип работы, приводятся технические характеристики, указывается материал, количество тех составных частей изделия, с помощью которых описывается принцип его работы, поясняются изображения общего вида и состав изделия;

в) приведены необходимые размеры и, если требуется, схема (например, кинематическая) изделия, техническая характеристика и технические требования.

Схема — графический конструкторский документ, на котором показаны в виде условных изображений или обозначений составные части изделия и связи между ними.

В зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия, схемы подразделяют на следующие виды, обозначаемые буквами: электрические — Э; гидравлические — Г; пневматические — П; газовые (кроме пневматических) — Х; кинематические — К; вакуумные — В; оптические — Л; энергетические — Р; деления — Е; комбинированные — С.

В зависимости от основного назначения схемы подразделяют на следующие типы, обозначаемые цифрами: структурные — 1; функциональные — 2; принципиальные — 3; соединений — 4; подключения — 5; общие — 6; расположения — 7; объединенные — 0.

Наименование и код схемы определяются ее видом и типом, например, схема кинематическая принципиальная — К3, схема гидропневматическая функциональная — С2, схема электрическая принципиальная и соединений — Э0.

Пояснительную записку составляют при разработке технического предложения, эскизного и технического проектов. В ней следует приводить характеристики выбранных технических средств и нестандартного оборудования. Результаты расчетов предпочтительно представлять в табличной форме.

В общем случае пояснительная записка к техническому проекту должна состоять из следующих разделов: содержание, введение, характеристика изделия, основные решения, технико-экономическое обоснование и сметная стоимость капитальных затрат, материально-технические средства, обеспечение энергоресурсами и выполнение требований, связанных с автоматизацией и механизацией, научно-исследовательские, опытно-конструкторские и экспериментальные работы, указания по подготовке и реализации проекта, приложения.

К рабочей документации проекта относят *графические и текстовые документы*: сборочные чертежи и чертежи деталей, габаритный, монтажный и другие чертежи, спецификации, ведомости спецификаций и ссылочных документов.

Контрольные вопросы

1. Как реализуется принцип синергетической интеграции при проектировании ММ?
2. Из каких этапов состоит проектирование ММ?
3. Что такое функциональная модель ММ?
4. Что такое структурная модель ММ?

5. Что такое конструктивная модель ММ?

6. В чем заключается цель многовариантности при проектировании ММ?

7. Что понимается под компактностью ММ и какими средствами она достигается?

8. Какие документы входят в состав технического проекта ММ?

9. Что представляет собой чертеж общего вида ММ?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переход от традиционных механизмов и агрегатов к мехатронным модулям и системам является качественным скачком. Его реализация невозможна без изучения разработчиком последних достижений механики, электроники, компьютерной техники и умения оперировать современными методами расчета и конструирования.

В то же время динамичное расширение сферы влияния мехатроники на горное машиностроение сопровождается появлением оригинальных технических решений и уточненных, а зачастую и принципиально новых расчетных формул. Для их понимания и использования в его работе конструктору нужна достаточно прочная база знаний, формированию которой и служит это учебное пособие.

Достигнутый на текущий момент уровень развития шахтных стационарных установок и горнодобывающей техники достаточно высок для полномасштабного использования общих принципов и отдельных технических решений из области мехатронных модулей и систем. Имеется опыт создания проходческих и добычных комплексов, управляемых находящимся на безопасном удалении оператором. Широкое внедрение мехатроники в горнодобывающее производство обеспечит переход шахт и рудников на безлюдную выемку и устранит необходимость в тяжелом и опасном труде горнорабочих.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бродовский, В. Н.* Мехатронный приводной модуль поступательного перемещения для технологических машин / В. Н. Бродовский, М. В. Баранов, Ю. В. Илюхин // Мехатроника. Машиностроение. — Москва : Новые технологии, 2000. — № 4.

2. *Востриков, А. С.* Опыт разработки мехатронных систем в НГТУ / А. С. Востриков, Б. М. Боченков // Мехатроника. — Москва : Новые технологии, 2000. — № 5.

3. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов [и др.]. — Москва : Машиностроение, 1970.

4. *Дунаев, П. Ф.* Детали машин. Курсовое проектирование / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. — Москва : Машиностроение, 2004.

5. *Егоров, О. Д.* Прикладная механика мехатронных устройств : учебное пособие / О. Д. Егоров. — Москва : МГТУ «СТАНКИН», 2013.

6. *Егоров, О. Д.* Точность манипуляционных механизмов роботов / О. Д. Егоров. — Москва : Изд-во МГТИ, 1989.

7. *Иванов, М. Н.* Детали машин: учебник для академического бакалавриата / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. — Москва : Юрайт, 2014.

8. *Казмиренко, В. Ф.* Электрогидравлические мехатронные модули движения / В. Ф. Казмиренко. — Москва : Радио и связь, 2001.

9. Каталог продукции. Мотор-редукторы. Редукторы. — Москва : Приводная техника, 2002.

10. *Крайнев, А. Ф.* Детали машин : словарь-справавочник / А. Ф. Крайнев. — Москва : Машиностроение, 1992.

11. Номенклатурный каталог. Редукторы и мотор-редукторы. — Санкт-Петербург : Изд-во НТЦ «Редуктор», 2002.

12. *Свешников, В. А.* Станочные гидроприводы : справочник / В. А. Свешников, А. А. Усов. — Москва : Машиностроение, 1982.

13. *Ющенко, А. С.* Адаптивные робототехнологические комплексы для механической обработки и сборки / А. С. Ющенко, Ю. В. Подураев. — Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999.

14. *Егоров, О. Д.* Мехатронные модули: рассчет и конструирование : учебное пособие / О. Д. Егоров, Ю. В. Подураев. — Москва : МГТУ «СТАНКИН», 2004. — 360 с.

15. *Булгаков, А. Г.* Промышленные роботы. Кинематика, динамика, контроль и управление / А. Г. Булгаков, В. А. Воробьев. — Москва : СОЛОН-Пр., 2018.

16. *Веселов, О. В.* Расчет и проектирование мехатронных устройств : учебное пособие / О. В. Веселов. — Владимир : Владимирский гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых (ВлГУ), 2019.

17. *Перепелкин, М. А.* Мехатроника через призму наук / М. А. Перепелкин // Горная промышленность. — Москва : Гемос Лимитед, 2020. — № 1.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

Методические указания к выполнению лабораторных работ и курсовой работы

Б1.В.07 ПРИВОДЫ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Направление -
15.03.06 Мехатроника и робототехника
Профиль -
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Волков Е.Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

Введение……4
Методические рекомендации для самостоятельной работы……..…..5
Методические рекомендации для лабораторных занятий…….....11
Методические рекомендации для выполнения
курсового проекта..……15
Библиографический список……...22

ВВЕДЕНИЕ

Мехатроника является новой и динамично развивающейся отраслью науки и техники. Она базируется на знаниях и достижениях в областях механики, электроники и компьютерного управления и представляет собой более высокий уровень развития современного машиностроения.

Электропривод переменного тока стал доминирующим в новых разработках технологического оборудования, а частотнорегулируемый электропривод с асинхронным короткозамкнутым двигателем широко применяется и выпускается многими электротехническими фирмами мира. Совместно с компьютерными средствами управления привод переменного тока имеет большие функциональные возможности и адаптирован ко всем объектам применения, где ранее использовался привод постоянного тока.

Гидропривод позволяет с достаточно высокой точностью ограничить усилия на выходном звене заданной величиной и, таким образом, не только выполнить требование технологического процесса, но и предохранить сам модуль и обслуживаемую им систему от перегрузки.

Изучение данной дисциплины позволит студентам в полной мере усвоить конструкцию и особенности основных элементов различных приводов и сформировать базу знаний, необходимых для проектирования мехатронных и робототехнических устройств.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Самостоятельная работа – это вид учебной деятельности, выполняемый студентом без непосредственного контакта с преподавателем или управляемый преподавателем опосредовано через специальные учебные материалы; неотъемлемое обязательное звено процесса обучения, предусматривающее, прежде всего, индивидуальную работу студентов в соответствии с установкой преподавателя или учебника, программы обучения.

В процессе самостоятельной деятельности студент должен научиться выделять познавательные задачи, выбирать способы их решения, выполнять операции контроля за правильностью решения поставленной задачи, совершенствовать навыки реализации теоретических знаний.

Самостоятельная работа студента под руководством преподавателя протекает в форме делового взаимодействия: студент получает непосредственные указания, рекомендации преподавателя об организации самостоятельной деятельности, а преподаватель выполняет функцию управления через учет, контроль и коррекцию ошибочных действий.

Успешность самостоятельной работы в первую очередь определяется степенью подготовленности студента. По своей сути самостоятельная работа предполагает максимальную активность студентов в различных аспектах: организации умственного труда, поиске информации, стремлении сделать знания убеждениями. Психологические предпосылки развития самостоятельности студентов заключаются в их успехах в учебе, положительном к ней отношении, заинтересованности и увлеченности предметом, пони мании того, что при правильной организации самостоятельной работы приобретаются навыки и опыт творческой деятельности.

Самостоятельная работа обучающихся является составной частью учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, поиск и приобретение новых знаний, в том числе с использованием автоматизированных обучающих систем, а также выполнение учебных заданий, подготовку к предстоящим занятиям, зачетам и экзаменам.

Самостоятельная работа предназначена не только для овладения дисциплиной, но и для формирования навыков самостоятельной работы вообще, в учебной, научной, профессиональной деятельности, способности принимать на

себя ответственность, самостоятельно решить проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т. д.

Самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы. Никакие знания, не подкрепленные самостоятельной деятельностью, не могут стать подлинным достоянием человека. Кроме того, самостоятельная работа имеет воспитательное значение: она формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации.

Для повышения эффективности самостоятельной работы студентов используется:

- организация индивидуальных планов обучения с привлечением студентов к научно-исследовательской работе и по возможности к реальному проектированию по заказам предприятий;
- включение самостоятельной работы студентов в учебный план и расписание занятий с организацией индивидуальных консультаций на кафедрах;
- создание комплекса учебных и учебно-методических пособий для выполнения самостоятельной работы студентов;
- разработка системы интегрированных межкафедральных заданий;
- ориентация лекционных курсов на самостоятельную работу;
- рейтинговый метод контроля самостоятельной работы студентов;
- коллегиальные отношения преподавателей и студентов;
- разработка заданий, предполагающих нестандартные решения;
- индивидуальные консультации преподавателя и перерасчет его учебной нагрузки с учетом самостоятельной работы студентов;
- проведение форм лекционных занятий типа лекции-беседы, лекции-дискуссии, где докладчиками и содокладчиками выступают сами студенты, а преподаватель выполняет роль ведущего. Такие занятия предполагают предварительную самостоятельную проработку каждой конкретной темы выступающими студентами по учебным пособиям, консультации с преподавателем и использование дополнительной литературы.

Тема 1.

Устройство, основные свойства и принцип работы гидро- и пневмоприводов. Классификация и характеристики. Расчет и выбор гидро-приводов.

Тема 2.

Источники питания гидравлических приводов. Аккумуляторы для гидравлических приводов. Насосы подачи.

Тема 3.

Электрогидравлический привод. Гидроусилители. Прямое и непрямое управление.

Тема 4.

Исполнительные двигатели гидроприводов мехатронных систем.

Тема 5.

Упрощенная математическая модель и структура гидроприводов.

Тема 6.

Следящий привод с электрическим управлением и дроссельным регулированием скорости

Тема 7.

Понятие электропривода. Уравнение движения электропривода. Электродвигатели постоянного тока и их характеристики. Режимы работы электропривода

Тема 8.

Электродвигатели переменного тока и их характеристики. Многодвигательный электропривод.

Тема 9.

Переходные процессы в электрических приводах. Пусковой режим работы электрических приводов различного типа

Тема 10.

Регулирование скорости электроприводов постоянного тока с различным видом возбуждения

Тема 11.

Регулирование скорости электропривода изменением питающего напряжения

Тема 12.

Импульсное регулирование скорости привода постоянного тока

Тема 13.

Электрический привод по системе "генератор-двигатель"

Тема 14.

Регулирование скорости приводов на двигателях переменного тока

Тема 15.

Регулирование скорости асинхронных двигателей в каскадных схемах

Тема 16.

Электропривод на шаговом двигателе. Конструкция шагового двигателя и принцип работы. Управление шаговым приводом

Тема 17.

Управление приводом в разомкнутых системах. Автоматическое управление пуском

Тема 18.

Управление приводом в разомкнутых системах. Автоматическое управление торможением

Вопросы для самоконтроля:

1. Автоматическое управление электроприводом в разомкнутой системе. Системы автоматического пуска.

2. Автоматический пуск двигателя в функции различных параметров управления. Контактные и бесконтактные схемы пуска.
3. Автоматическое управление электроприводом в разомкнутой системе. Системы автоматического торможения.
4. Автоматическое торможение двигателя в функции различных параметров управления. Контактные и бесконтактные схемы торможения.
5. Конструкция, устройство и принцип действия шагового двигателя.
6. Схема включения и принцип функционирования шагового двигателя.
7. Принцип построения систем управления шаговым приводом.
8. Управление усилием на выходном звене исполнительного механизма.
9. Управление скоростью движения выходного звена исполнительного механизма.
10. Напорный и редукционный клапаны, регулируемый дроссель и регулятор расхода.
11. Гидравлические характеристики гидроприводов.
12. Гидрозамок. Позиционирование штока гидроцилиндра.
13. Объемный гидромотор.
14. Применение аккумуляторов в гидравлических приводах.
15. Определение рабочего объема и давления зарядки гидроаккумулятора.
16. Совместная работа двух исполнительных механизмов. Применение клапана последовательности и делителя потока.
17. Устройство ввода и обработки электрического сигнала электрогидравлического привода.
18. Измерение электрических величин электрогидравлического привода.
19. Основные способы управления пневмоцилиндрами.
20. Пневмоцилиндры одностороннего и двухстороннего действия.
21. Логические функции и их реализация в пневмосистемах.
22. Средства пневмоавтоматики, реализующие логические функции.
23. Принцип управления пневмоцилиндрами по времени и давлению.
24. Следящий привод с электрическим управлением и дроссельным регулированием скорости.

25. Линейная математическая модель следящего гидропривода с электрическим управлением.
26. Электродвигатель постоянного тока с независимым возбуждением. Схема включения, характеристики и режимы работы.
27. Электродвигатели постоянного тока с последовательным и смешанным возбуждением. Схемы включения, характеристики и режимы работы.
28. Асинхронные двигатели. Типы асинхронных двигателей. Схемы включения, характеристики и режимы работы.
29. Синхронный двигатель. Схема включения и особенности функционирования. Характеристики и режимы работы.
30. Переходные процессы в электрических приводах. Переходные характеристики.
31. Пуск электропривода постоянного тока на двигателе с независимым возбуждением.
32. Пуск электропривода постоянного тока на двигателе с последовательным возбуждением.
33. Пусковой режим электропривода на асинхронном двигателе.
34. Переходные процессы в системе «Управляемый преобразователь – двигатель».
35. Регулирование скорости электроприводов. Реостатное регулирование скорости двигателей постоянного тока с различными видами возбуждения.
36. Регулирование скорости электропривода постоянного тока шунтированием обмотки якоря.
37. Регулирование скорости электроприводов постоянного тока изменением потока возбуждения.
38. Регулирование скорости электропривода изменением питающего напряжения.
39. Регулирование скорости электропривода с использованием ЭМУ.
40. Регулирование скорости электропривода посредством магнитного усилителя.
41. Регулирование скорости электропривода посредством транзисторного усилителя.

42. Регулирование скорости электропривода с использованием тиристорного преобразователя напряжения.
43. Управляемый вентильный электропривод постоянного тока. Реверсивная и нереверсивная схемы включения тиристорного преобразователя.
44. Регулирование скорости электропривода с помощью импульсного регулятора напряжения.
45. Регулирование скорости асинхронных двигателей реостатным методом.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Лабораторное занятие - это основной вид учебных занятий, направленный на экспериментальное подтверждение теоретических положений. В процессе лабораторного занятия студенты выполняют одну или несколько лабораторных работ (заданий) под руководством преподавателя в соответствии с изучаемым содержанием учебного материала. Выполнение обучающимися лабораторных работ направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление теоретических знаний по конкретным темам учебной дисциплины;

- формирование умений применять полученные знания в практической деятельности, формирование компетенций;

- развитие аналитических, проектировочных, конструктивных умений;

- выработку самостоятельности, ответственности и творческой инициативы.

При проведении лабораторных занятий учебная группа может делиться на подгруппы численностью не менее 8 человек, а в случае индивидуальной подготовки и менее.

Ведущей дидактической целью лабораторных занятий является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений. Основными целями лабораторных занятий являются:

- установление и подтверждение закономерностей;

- проверка формул, методик расчета;

- установление свойств, их качественных и количественных характеристик;

- ознакомление с методиками проведения экспериментов;

- наблюдение за развитием явлений, процессов и др.

В ходе лабораторных занятий у студентов формируются практические умения и навыки обращения с различными приборами, установками, лабораторным оборудованием, а также исследовательские умения (наблюдать, сравнивать, анализировать, устанавливать зависимости, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования, оформлять результаты).

Лабораторные занятия как вид учебной деятельности должны проводиться в специально оборудованных лабораториях, где выполняются лабораторные работы (задания). Необходимые структурные элементы лабораторного занятия:

- инструктаж, проводимый преподавателем;

- самостоятельная деятельность обучающихся; - обсуждение итогов выполнения лабораторной работы (задания).

Перед выполнением лабораторного задания (работы) проводится проверка знаний обучающихся их теоретической готовности к выполнению задания.

Лабораторное задание (работа) может носить репродуктивный, частично-поисковый и поисковый характер. Работы, носящие репродуктивный характер, отличаются тем, что при их проведении студенты пользуются подробными инструкциями, в которых указаны: цель работы, пояснения (теория, основные характеристики), оборудование, аппаратура, материалы и их характеристики, порядок выполнения работы, таблицы, выводы (без формулировок), контрольные вопросы, учебная и специальная литература.

Работы, носящие частично-поисковый характер, отличаются тем, что при их проведении обучающиеся не пользуются подробными инструкциями, им не задан порядок выполнения необходимых действий, от обучающихся требуется самостоятельный подбор оборудования, выбор способов выполнения работы, инструктивной и справочной литературы. Работы, носящие поисковый характер, отличаются тем, что обучающиеся должны решить новую для них проблему, опираясь на имеющиеся у них теоретические знания.

По каждому лабораторному заданию (работе) преподавателем учебной дисциплины разрабатываются методические указания по их проведению, которые рассматриваются на заседании ПЦК. По лабораторной работе репродуктивного характера методические указания содержат:

- тему занятия;

- цель занятия;

- пояснения (теория, основные характеристики);

- используемое оборудование, аппаратуру, материалы и их характеристики;

- порядок выполнения конкретной работы;

- таблицы для заполнения; - выводы (без формулировок);

- контрольные вопросы; - учебную и специальную литературу.

По лабораторной работе частично-поискового характера методические указания содержат:

- тему занятия; - цель занятия;

- пояснения (теория, основные характеристики).

Форма организации обучающихся для проведения лабораторного занятия фронтальная, групповая и индивидуальная определяется преподавателем, исходя из темы, цели, порядка выполнения работы. При фронтальной форме организации занятий все обучающиеся выполняют одну и ту же работу. При групповой форме организации занятий одна и та же работа выполняется бригадами по 2-5 человек. При индивидуальной форме организации занятий каждый обучающийся выполняет индивидуальное задание.

Результаты выполнения лабораторного задания (работы) оформляются обучающимися в виде отчета. Оценки за выполнение лабораторного задания (работы) являются показателями текущей успеваемости студентов по учебной дисциплине.

Лабораторные занятия

1. Устройство, основные свойства и принцип работы гидро- и пневмоприводов. Исследование гидропривода при управлении скоростью движения выходного звена исполнительного механизма. Исследование гидропривода на позиционирование штока гидроцилиндра. Исследование гидропривода с объемным гидромотором. Исследование принципов управления пневмоцилиндрами одностороннего и двухстороннего действия. Исследование гидропривода при совместной работе двух исполнительных механизмов. Исследование пневмопривода при прямом и непрямом управ-

лении по скорости и по положению.Исследование возможности реализации логических функций в пневмосистемах.

2. Источники питания гидравлических и пневматических приводов. Аккумуляторы для гидро и пнревмоприводов. Насосы подачи, резервуары, преобразователи. Техника монтажа гидро- и пневмоапаратуры.
3. Исследование электрогидравлического привода при прямом и непрямом управлении. Исследование электрогидравлического привода, управляемого по времени и давлению при совместной работе двух гидроцилиндров.
4. Исполнительные двигатели гидроприводов мехатронных систем. Дроссели и регуляторы расхода. Фильтры и технология фильтрации. Вспомогательные и измерительные элементы.
5. Упрощенная математическая модель и структура гидроприводов. Линейная математическая модель гидропривода с электрическим управлением.
6. Следящий привод с электрическим управлением. Дроссельное регулирование скорости следящего привода. Исполнительные устройства логических систем управления гидро- и пневмоприводов.
7. Исследование электропривода на двигателе постоянного тока при ручном управлении в статическом режиме
8. Исследование электропривода на асинхронном двигателе с фазным ротором при ручном управлении в статическом режиме. Исследование электропривода на асинхронном двигателе с короткозамкнутым ротором при ручном управлении в статическом режиме. Исследование электропривода на синхронном двигателе
9. Регулирование скорости электроприводов постоянного тока с различным видом возбуждения
10. Импульсное регулирование скорости привода постоянного тока
11. Электрический привод по системе "генератор-двигатель"
12. Регулирование скорости асинхронных двигателей в каскадных схемах
13. Электропривод на шаговом двигателе. Конструкция шагового двигателя и принцип работы. Управление шаговым приводом
14. Управление приводом в разомкнутых системах. Автоматическое управление пуском электропривода. Пуск двигателя в функции скорости, в функции тока и времени
15. Управление приводом в разомкнутых системах. Автоматическое управление торможением. Динамическое торможение двигателя в функции

скорости и времени. Автоматическое управление торможением противовключением.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Требования к содержанию и оформлению курсового проекта

Курсовой проект должен состоять из расчётно-пояснительной записки и графической части. Расчётно-пояснительная записка выполняется на листах стандартного формата А4 (297х210 мм) объёмом 20-30 страниц.

Пояснительная записка. Объем текстовой части должен быть не менее 25-30 страниц машинописного текста формата А4.

В структуре пояснительной записки выделяют:

- титульный лист;
- задание на выполнение курсовой работы;
- реферат;
- содержание;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения.

Обязательные структурные элементы выделены полужирным шрифтом. Остальные структурные элементы включаются в записку по усмотрению исполнителя.

Титульный лист является первой страницей пояснительной записки и служит источником информации, необходимой для обработки и поиска документа. Титульный лист выполняется в соответствии с ГОСТ 7.32-2001 «Отчет о научно- исследовательской работе. Структура и правила оформления».

Задание на выполнение курсового проекта является неотъемлемой частью пояснительной записки и оформляется в соответствии с требованиями.

Реферат должен содержать:

– сведения о количестве страниц документа, количестве иллюстраций, таблиц, приложений, количестве использованных источников;

– сведения о графической части проекта (работы): количество листов, формат листов;

– перечень ключевых слов;

– текст реферата.

Перечень ключевых слов должен включать от 5 до 15 слов или словосочетаний из текста документа, которые в наибольшей мере характеризуют его содержание. Ключевые слова приводятся в именительном падеже и печатаются или пишутся прописными буквами в строку через запятые.

В тексте реферата должна быть отражена сущность выполненной работы (объект исследования или разработки, цель работы, методы исследования, полученные результаты, основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики, область применения, экономическая эффективность или значимость работы).

Оформление реферата согласно ГОСТ 7.9

Содержание включает введение, наименование всех разделов, подразделов, пунктов (если они имеют наименование) и заключение с указанием номеров страниц, с которых начинаются эти элементы.

Нормативные ссылки содержат перечень стандартов, на которые в тексте дана ссылка.

Перечень ссылочных стандартов начинают со слов: «В настоящей записке использованы ссылки на следующие стандарты».

В перечень включают обозначения стандартов и их наименования в порядке возрастания регистрационных номеров обозначения.

Структурный элемент «Определения» содержит определения, необходимые для уточнения или установления терминов, используемых в пояснительной записке.

Перечень определений начинают со слов: «В настоящей записке применяют следующие термины с соответствующими определениями».

Перечень обозначений и сокращений, условных обозначений, символов, единиц физических величин и терминов располагается столбцом. Слева в алфавитном порядке приводят сокращения, условные обозначения, символы, единицы физических величин и термины, справа – их детальную расшифровку.

Во введении, объемом не более двух страниц, должны содержаться оценка современного состояния решаемой научно-технической проблемы, обоснование и исходные данные для разработки темы, аргументация актуальности и новизны темы, цель и задачи работы.

Заголовок введения не нумеруется.

В структуре основной части, как правило, выделяется 4 раздела (главы) (1, 2, 3), а в их составе подразделы (параграфы) (1.1, 1.2, …, 2.3, 2.4 и т.п.). Отсутствие в главе составляющих ее вопросов делает выделение главы, в большинстве случаев, нецелесообразным. Название глав и вопросов должны быть сформулированы, по возможности, кратко и отражать их содержание. Название вопросов (параграфов) не должны повторять название глав. Не допускаются названия в предложном падеже, например, "О методе построения …".

В первой части курсовой работы студент производит обоснование необходимости решения поставленной задачи.

Во второй части (расчетной) части приводится решение поставленной задачи.

В заключении, объемом не более двух страниц, должны быть сформулированы краткие выводы, полученные в процессе выполнения работы, оценки полноты решений поставленных задач, отражены перспективы развития рассмотренных вопросов. Запрещается в заключении вместо выводов приводить аннотацию работы.

Список использованных источников дается в порядке появления ссылок на источники в тексте. Правила библиографического описания источников должны соответствовать ГОСТ 7.1. Примеры оформления приведены в приложении 4. При использовании в тексте выдержек из источника, цитат, мнения специалистов и т.п. делается ссылка в квадратных скобках с указанием порядкового номера источника по списку использованных источников. При необходимости разрешается дополнять ссылку номером страницы. Например [5] или [5, с. 324]. На все источники в тексте должны быть ссылки.

Приложения выделяются, если есть объемные табличные, графические материалы, листинги модулей и т.п. В приложение могут быть также вынесены вспомогательные расчеты, типовые бланки, скриншоты интерфейсных форм. Приложения должны иметь название, отражающие их содержание, и порядковый номер, на который в тексте основной части обязательно должны быть даны ссылки.

Графическая часть (при наличии) выполняется на листах формата А1 в карандаше, туши или выполненных с помощью печатающей техники. При оформлении необходимо учитывать требования соответствующих ГОСТов.

Текст работы оформляется в виде пояснительной записки в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32-2001 (ISO 5966-82) «Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления».

Изложение должно быть последовательным, логичным, конкретным. Стиль изложения: строгий, научный, Поэтому не допускается использование сленга, в том числе программистского. Также не допускается использование повелительного наклонения, например, «нажмите кнопку, и вы ощутите радость от того, что у вас все получилось».

Страницы текста записки и включенные в записку иллюстрации, таблицы и распечатки с ЭВМ должны соответствовать формату А4 (210х297 мм). Допускается представлять иллюстрации и таблицы на листах формата А3.

Записка должна быть выполнена с применением печатающих устройств ЭВМ на одной стороне листа белой бумаги через один интервал.

Шрифт основного текста, заголовков, подписей рисунков и таблиц пояснительных записок, выполненных на печатающих устройствах ПЭВМ, должен иметь гарнитуру «Times New Roman», рекомендуемый размер 14, но не менее 12 пунктов, обычное начертание. В заголовках разрешается использовать гарнитуру «Arial», начертание курсивное, полужирное или полужирный курсив.

В таблицах, при необходимости, разрешается понижение размера шрифта до 12 пунктов.

Текст записки следует печать, соблюдая следующие размеры полей: левое - 30 мм, правое - 15 мм, верхнее – и нижнее - 20 мм. Печатать на одной стороне листа через полтора интервала.

Вне зависимости от способа выполнения пояснительной записки качество напечатанного текста и оформление иллюстраций, таблиц, распечаток с ЭВМ должно удовлетворять требованию их четкого воспроизведения.

При оформлении записки необходимо соблюдать равномерную плотность, контрастность и четкость изображения по всему тексту. В записке должны быть четкие, нерасплывшиеся линии, буквы, цифры и знаки. Все линии, буквы, цифры и знаки должны быть одинаково черными по всему тексту.

Опечатки, описки и графические неточности допускается исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской и нанесением на том же месте

исправленного изображения машинописным способом или от руки черными чернилами или черной тушью.

Фамилии, названия учреждений, организаций, фирм, название изделий имена собственные в записке приводят на языке оригинала. Допускается транслитерировать имена собственные и приводить названия организаций в переводе на русский язык с добавлением (при первом упоминании) оригинального названия.

Защита и оценивание курсового проекта

Аттестационная оценка курсового проекта учитывает функциональную полноту и качество решения поставленных задач, качество оформления отчёта, степень соблюдения стандартов, рекомендаций настоящих методических указаний и непосредственно саму защиту работы (ответы на вопросы преподавателя, уровень понимания и владения представленными программами).

В соответствии с графиком сдачи курсовых работ, составленным на кафедре, студент предоставляет расчётно-пояснительную записку и графическую часть, выполненную в едином переплете.

Защита курсового проекта проводится в присутствии комиссии, назначенной заведующим кафедры, с участием руководителя курсовой работы. В состав комиссии могут входить доценты, преподаватели по изучаемой дисциплине. На защите могут присутствовать сторонние лица без права участия в процедуре защиты.

В процессе защиты студент выступает с докладом (5-7 мин.).

Примерная схема доклада следующая:

– наименование темы курсовой работы, ее актуальность;
– состав основных разделов курсовой работы;
– краткое описание проблемы, анализ путей ее решения и обоснования метода решения задачи;
– решение задачи;
– анализ решения;
– выводы по курсовой работе.

Студент должен ответить на замечания, отмеченные в отзыве руководителя, а также на заданные вопросы. При ответе на вопросы в процессе защиты

студент может использовать пояснительную записку, графическую и презентационную части курсовой работы.

При оценке работы учитывается:

– актуальность темы;
– методы исследования, применяемые в работе;
– доклад;
– полнота раскрытия темы;
– использование в курсовой работе специальных и технических дисциплин;
– содержание и качество пояснительной записки;
– ответы на вопросы;
– отзыв и оценка руководителя.

Основными критериями оценки работы являются:

– способность студента к самостоятельному решению технических задач;
– использование современных методов при решении поставленных задач;
– оригинальность и новизна принятых решений;
– знание ГОСТов и нормативных документов;
– умение пользоваться справочной литературой, компьютером.

Работы студентов оцениваются по пятибалльной шкале.

Положительная оценка (отлично, хорошо, удовлетворительно) заносится в экзаменационную ведомость, зачетную книжку студента.

При получении неудовлетворительной оценки студент выполняет курсовой проект по новой теме или, по решению заведующего кафедрой, перерабатывает прежнюю в сроки, установленные заведующим кафедрой. В случае неявки автора на защиту по уважительной причине, возможно назначение дополнительной даты защиты.

Оценка «неудовлетворительно» проставляется только в экзаменационную ведомость.

Примерные темы курсовых проектов

1. САУ высокомоментным электроприводом, работающим в режиме переменных нагрузок.

2. Система автоматической стабилизации тока электродвигателя для привода, работающего в режиме переменной нагрузки на валу.
3. САУ электроприводом на асинхронном двигателе с частотным преобразователем.
4. Система частотно-токового управления электроприводом на асинхронном двигателе.
5. САУ импульсным электроприводом постоянного тока.
6. САУ синхронным двигателем для привода поворотного устройства.
7. САУ вентильно-индукторным электроприводом.
8. САУ следяще-копировальным электроприводом.
9. Релейная САУ следящим приводом.
10. САУ следящим приводом с переменным дифференцированием.
11. САУ следящим приводом на асинхронном двигателе.
12. Многоканальная САУ следящим приводом.
13. САУ двухкоординатным приводом металлорежущего станка.
14. САУ электрическим приводом с коррекцией по стабилизации скорости.
15. САУ вентильно-индукторным электроприводом.
16. САУ электрическим приводом со стабилизацией по мощности.
17. САу электрическим приводом со стабилизацией по усилию.
18. Система автоматической оптимизации режимов работы электрического привода.
19. Двухканальная САУ электрическим приводом постоянного тока.
20. САУ электроприводом, оптимальная по быстродействию
21. САУ гидравлическим приводом.
22. САУ пневматическим приводом.
23. САУ электрогидроводом.
24. САУ следящим гидроприводом с дроссельным регулированием скорости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шапран А. А. Приводы мехатронных и робототехнических устройств. Электрический привод : конспект лекций / А. А. Шапран. - Екатеринбург : Ур-ГУПС, 2015. – 83 с.

2. Москакленко В. В. Электрический привод: Учебник / В. В. Москаленко. – М. : НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 400 с. http://znanium.com/bookread2.php?book=443646

3. Герман-Галкин С. Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК : проектирование мехатронных систем на ПК / С. Г. Герман-Галкин. - Москва : КОРОНА-Век, 2008. - 367 с.

4. Юревич Е. И. Основы робототехники : рекомендовано УМО вузов по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 652000 "Мехатроника и робототехника" (специальность 210300 "Роботы и робототехнические системы") / Е. И. Юревич. - 3-е изд. - Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2010. - 359 с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.В.07 ПРИВОДЫ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Направление -
15.03.06 Мехатроника и робототехника
Профиль -
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____ *(подпись)*	Председатель _____ *(подпись)*
Волков Е.Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

Оглавление

1. Понятие «электропривод». Уравнение движения электропривода. Электродвигатели постоянного тока и их характеристики. Режимы работы электропривода 4
2. Электродвигатели переменного тока и их характеристики. Многодвигательный электропривод 15
3. Переходные процессы в электрических приводах. Пусковой режим работы электрических приводов различного типа 20
4. Регулирование скорости электроприводов постоянного тока с различным видом возбуждения 26
5. Регулирование скорости электропривода изменением питающего напряжения 32
6. Импульсное регулирование скорости привода постоянного тока 39
7. Электрический привод по системе «генератор-двигатель» 45
8. Регулирование скорости приводов на двигателях переменного тока 48
9. Регулирование скорости асинхронных двигателей в каскадных схемах 52
10. Электропривод на шаговом двигателе. Конструкция шагового двигателя и принцип работы. Управление шаговым приводом 59
11. Управление приводом в разомкнутых системах. Автоматическое управление пуском и торможением 64
12. Автоматическое управление приводом в замкнутых системах 71

1. Понятие «электропривод». Уравнение движения электропривода. Электродвигатели постоянного тока и их характеристики. Режимы работы электропривода

Основные понятия и определения. Управление представляет собой организацию того или иного процесса, которая обеспечивает достижение определенных целей.

Система управления — совокупность всех устройств, обеспечивающих управление каким-либо объектом или процессом. Если управление осуществляется без непосредственного участия человека, то система управления называется автоматической. Систему автоматического управления (САУ) образуют устройство украшения и объект управления.

Если отдельные операции управления осуществляет человек или группа людей, то такие системы управления называются автоматизированными. Для выполнения этих операций человек должен получать информацию о процессе управления и иметь в своем распоряжении соответствующие органы управления объектом или процессом.

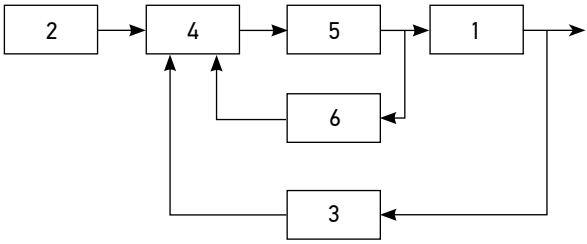


Рис. 1.1. Схема системы автоматического управления

Обобщенная схема САУ показана на рис. 1.1. На ней обозначены: *1*– объект управления; *2* — источник информации о задачах управления; *3* — устройства информации о ходе и результатах управления; *4* — устройство обработки информации и выработки сигнала управления; *5* — исполнительное устройство; *6* — устройства информации о функционировании исполнительного устройства.

В отдельных случаях задачей управления является обеспечение постоянства некоторой физической переменной: температуры, скорости вращения, давления — или ее изменение во времени по определенному закону. Такой частный вид управления обычно называется *регулированием*.

Система автоматического регулирования (САР) по аналогии с системой автоматического *управления* состоит из *регулируемого объекта* и *регулятора*. В состав систем автоматического регулирования кроме регулятора входят и другие необходимые для их функционирования устройства. К ним относятся:

- датчики регулируемых переменных, с помощью которых получают информацию об их текущих значениях;
- задатчики регулируемых переменных, с помощью которых системе задается требуемый уровень регулируемой переменной;
- измерительные устройства, с помощью которых определяется отклонение текущего (фактического) значения регулируемой переменной от ее заданного значения;
- устройства сопряжения, позволяющие соединить все элементы и устройства системы регулирования в единый комплекс.

В систему регулирования входят элементы и устройства, обеспечивающие защиту, блокировку и сигнализацию при ее работе, а в современных системах регулирования — дополнительно тестирование, диагностику и резервирование.

Различают следующие виды САР:

- *системы автоматической стабилизации,* обеспечивающие поддержание регулируемой величины на заданном уровне с требуемой точностью. К таким системам относятся, например, системы поддержания температуры в нагревательной печи, система регулирования скорости вращения двигателей и многие другие. Системы стабилизации делятся на астатические и статические. *Астатические системы стабилизации* обеспечивают поддержание регулируемой переменной в статическом режиме на неизменном уровне при изменениях возмущающего воздействия. *Статическими*

системами называются такие, в которых в установившемся режиме происходит изменение регулируемой переменной при изменении возмущающего воздействия. Другими словами, астатические САР обеспечивают регулирование переменных в установившемся режиме без ошибки, т.е. осуществляют регулирование переменной строго с заданным уровнем, а статические САР — с некоторой ошибкой;

— следящие системы, которые осуществляют изменение регулируемой величины во времени по произвольному закону. Примерами такой системы могут служить системы слежения локатором за целью или система радиоантенны, обеспечивающая связь с космическими объектами;
— системы программного регулирования, которые обеспечивают изменение регулируемой переменной во времени по определенной программе, например, системы числового программного управления станками;
— системы адаптации, обеспечивающие оптимальное регулирование переменной по заданному показателю качества при изменяющихся условиях работы объекта регулирования. К таким системам относятся самонастраивающиеся, самоорганизующиеся и самообучающиеся системы.

Системы с одним входным каналом и одной регулируемой (выходной) переменной носят название одномерных, а с несколькими входными и несколькими выходными — многомерными.

Объект управления (регулирования) при его функционировании подвергается различным воздействиям. Со стороны системы управления на него действует управляющее (регулирующее) воздействие, обеспечивающее требуемое регулирование заданной переменной.

Со стороны окружающей среды и сопредельных объектов и систем объект подвергается различным возмущающим воздействиям, которые могут иметь как определенный, так и случайный характер. К возмущающим воздействиям обычно относят и различные аварийные ситуации: исчезновение или колебания питающего напряжения, поломку в рабочей машине, выход из строя элемента системы управления и т.д. Основная задача систем управления состоит именно в том, чтобы при всех возможных возмущающих воздействиях, действующих на объект управления, обеспечить должным образом его управление.

Понятие о регулировании координат электропривода. Для управления движением исполнительных органов рабочих машин и производственных механизмов и обеспечения требуемых режимов самого ЭП необходимо регулирование ряда переменных, например скорости, ускорения и положения исполнительного органа рабочей машины, токов в цепях двигателей, момента на их валу, магнитного потока электрических машин и т.д.

Типичным примером регулирования переменных, которые в ЭП часто называют координатами, может служить ЭП пассажирского лифта. При пуске и остановке кабины лифта для обеспечения комфортности пассажиров ускорение и замедление ее движения не должны быть выше допустимого уровня. Перед остановкой скорость кабины должна снижаться, т.е. она должна регулироваться. Пониженная скорость движения кабины требуется и для осуществления наладки или ревизии электрооборудования лифта. Кабина с заданной точностью должна останавливаться на требуемом этаже, т.е. необходимо обеспечивать заданное положение кабины лифта. Такое управление движением кабины лифта обеспечивается за счет регулирования соответствующих координат (переменных) ЭП лифта.

При изготовлении бумаги, тканей, кабельных изделий, различных пленок, прокатке металлов требуется обеспечение определенного натяжения материалов, что также осуществляется с помощью ЭП. Регулирования координат требуют и многие другие рабочие машины и механизмы: подъемные краны, металлообрабатывающие станки, транспортеры, насосные агрегаты, роботы и манипуляторы и т.д.

Кроме того, при работе самого ЭП необходимо обеспечить определенные допустимые режимы работы его элементов. Так, например, при пуске, реверсе или торможении двигателей часто требуется ограничивать их токи до допустимых уровней.

Процесс регулирования этих и других координат всегда связан с целенаправленным воздействием на двигатель, что и должна обеспечивать его система управления.

Регулирование скорости движения исполнительных органов рабочих машин и механизмов может осуществляться с помощью ЭП в виде стабилизации скорости, изменения скорости в соответствии с произвольно меняющимся задающим сигналом (слежение) или по заранее заданной программе (программное движение).

Регулирование положения характеризуется процессом перемещения исполнительных органов рабочих машин и механизмов в заданную точку пространства или плоскости и их установку там

(фиксирование) с заданной точностью. Такое их перемещение из одной точки плоскости или пространства (позиции) в другую называется позиционированием и обеспечивается соответствующим регулированием положения вала двигателя.

Регулирование момента и тока двигателей производится в тех случаях, когда ЭП должен обеспечивать требуемое ускорение или замедление движения исполнительных органов или создавать необходимое натяжение в обрабатываемом материале или изделии.

Сюда же относятся и случаи, когда требуется ограничивать момент ЭП для предотвращения поломки рабочей машины или механизма при внезапном стопорении движения исполнительного органа (например, при копании грунта, бурении скважин, заклинивании механической передачи и т.д.).

Регулирование (ограничение) тока и момента двигателей требуется также для обеспечения нормальных условий работы самих двигателей. Так, при пуске двигателей постоянного тока обычного исполнения по соображениям нормальной работы их коллекторно-щеточного узла ток должен быть ограничен на уровне 2...3 $I_{ном}$. Необходимость ограничения тока возникает и при пуске мощных двигателей постоянного и переменного тока, когда большие пусковые токи двигателей могут привести к недопустимому снижению напряжения питающей сети.

Структуры и принципы построения систем управления электроприводом. Система управления ЭП является его составной частью. В соответствии со структурной схемой ЭП, представленной на рис. 1.2, и содержащимся в ГОСТ 50869-92 определением в состав ЭП *6* входит электрический двигатель *1*, который вырабатывает механическую энергию МЭ за счет потребляемой от источника *3* электрической энергии ЭЭ. Параметры и объемы поступающей на двигатель энергии регулируются силовым преобразователем электроэнергии *2*, за счет чего обеспечивается управление двигателем.

Сигнал управления $U_у$ силовым преобразователем вырабатывается устройством управления *4*, в состав которого в общем случае входят устройства получения, преобразования, хранения, распределения и выдачи информации, блоки сопряжения, регуляторы переменных (координат), различные функциональные блоки управления и т.д. Устройство управления *4* и преобразователь *2* образуют систему управления электропривода *5*.

Устройство управления *4* вырабатывает сигнал управления $U_у$ с помощью сигнала задания (уставки) $U_з$, задающего характер дви-

жения исполнительного органа *7* рабочей машины *8*, и ряда дополнительных сигналов $U_{дс}$, дающих информацию о реализации технологического процесса рабочей машины, характере движения исполнительного органа, работе отдельных элементов ЭП, возникновении аварийных ситуаций и т.д. Эти сигналы поступают на устройство управления от различных датчиков, которые на рис. 1.2 не показаны.

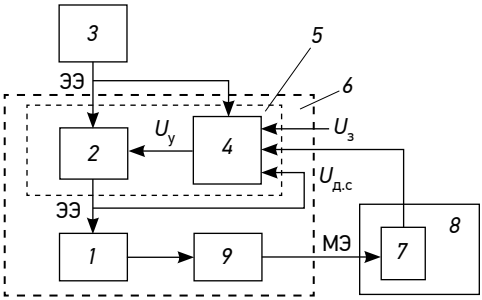


Рис. 1.2. Схема управления электроприводом

Сигнал задания (уставки) $U_з$ электропривод получает от внешней по отношению к нему системы управления более высокого уровня, например автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП). Тем самым следует различать систему управления электропривода как его составную часть и систему управления электроприводом (электроприводами), являющуюся внешней для ЭП системой и поставляющую электроприводу необходимую для его функционирования информацию.

В некоторых ЭП функции регулирования координат (обычно скорости вращения) ЭП выполняет механическая передача *9,* которая в этом случае может представлять собой электромагнитную или гидравлическую управляемые муфты, вариатор скорости, коробку передач.

В зависимости от выполняемых функций, вида и количества регулируемых координат и степени автоматизации технологических процессов реализация ЭП может быть самой разнообразной (рис. 1.3).

Все ЭП делятся на две группы: неавтоматизированные и автоматизированные.

Неавтоматизированные — это такие ЭП, управление которыми выполняет человек (оператор) с помощью простых средств.

Он осуществляет пуск и остановку ЭП, изменение скорости и ее реверсирование в соответствии с заданным технологическим циклом. Для помощи оператору ЭП снабжен необходимыми элементами защиты, блокировок и сигнализации.

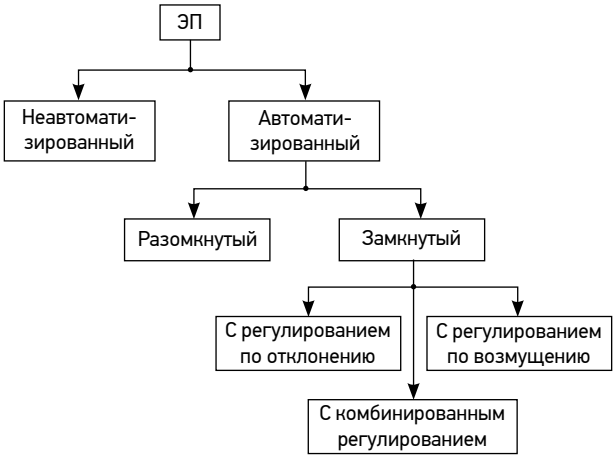


Рис. 1.3. Виды электроприводов

В автоматизированном ЭП операции управления в соответствии с требованиями технологического процесса выполняются системой управления (см. рис. 1.2). На оператора возлагаются функции по включению и отключению ЭП, наладке и контролю за его работой (отметим еще раз, что при работе ЭП в общем комплексе автоматизированного производства внешние команды поступают от управляющих устройств более высокого уровня, например АСУ производством).

Все автоматизированные ЭП делятся, в свою очередь, еще на две группы: разомкнутые и замкнутые. Рассмотрим характерные признаки работы этих ЭП на примере регулирования скорости ЭП.

Работа разомкнутого ЭП характеризуется тем, что все внешние возмущения — в рассматриваемом примере момент нагрузки — влияют на выходную координату ЭП — его скорость. Другими словами, разомкнутый ЭП не отстроен от влияния внешних возмущений, все изменения которых отражаются на его работе. Разомкнутый ЭП по этой причине не обеспечивает высокого качества регулирования координат, хотя и отличается в то же время простой схемой.

Разомкнутые ЭП обычно применяются для обеспечения пуска, торможения или реверса двигателей. В схемах управления таких ЭП используется информация о текущих скорости, времени, тока (момента) или пути, что позволяет автоматизировать указанные процессы.

Замкнутый ЭП, как и любая система автоматического регулирования, может быть реализован по принципу отклонения с использованием обратных связей или по принципу компенсации внешнего возмущения. Основным отличительным признаком замкнутых систем является полное или частичное устранение влияния внешнего возмущения на регулируемую координату ЭП. В силу этого обстоятельства замкнутый ЭП обеспечивает более качественное управление движением исполнительного органа рабочей машины, хотя его схемы оказываются более сложными.

Принцип компенсации иллюстрирует рис. 1.4, *а*. Основным признаком такой замкнутой структуры ЭП является наличие цепи, по которой на вход ЭП вместе с задающим сигналом скорости $U_{з.с}$ подается сигнал $U_м = k_м M_с$, содержащий информацию о моменте сопротивления (нагрузке) $M_с$. В результате этого управление ЭП осуществляется сигналом $U_Δ$, который автоматически изменяется в нужную сторону при колебаниях момента нагрузки, обеспечивая с помощью системы управления поддержание скорости вращения ω ЭП на заданном уровне.

Электроприводы по схеме рис. 1.4, *а* выполняются относительно редко из-за отсутствия простых и надежных датчиков момента нагрузки $M_с$ и других возмущающих воздействий и необходимости вводить соответствующие каналы информации по всем возможным возмущениям.

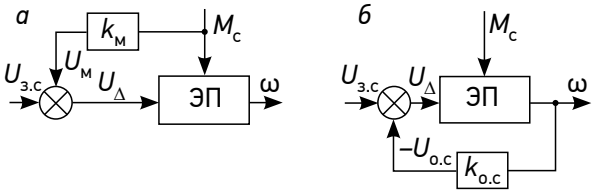


Рис. 1.4. Замкнутые структуры электропривода:
а — схема с компенсацией внешнего возмущения;
б — схема с обратной связью

В связи с этим подавляющее большинство замкнутых структур ЭП используют принцип отклонения (обратной связи). Он

характеризуется наличием цепи обратной связи, соединяющей выход ЭП с его входом, откуда и пошло название замкнутых схем. Применительно к рассматриваемому примеру регулирования скорости признаком этой замкнутой структуры является цепь обратной связи (рис. 1.4, *б*), по которой информация о текущем значении скорости, сигнал обратной связи $U_{\text{о.с}} = k_{\text{о.с}}\omega$, подается на вход ЭП, где он вычитается из сигнала задания скорости $U_{\text{з.с}}$ Управление осуществляется сигналом отклонения $U_{\Delta} = U_{\text{з.с}} - U_{\text{о.с}}$ (его также называют сигналом рассогласования или ошибки). Этот сигнал при отличии фактической скорости от заданного уровня автоматически изменяется необходимым образом и устраняет (частично или полностью) с помощью системы управления ЭП эти отклонения. Тем самым управление скоростью осуществляется с учетом результата управления.

В общем случае состояние ЭП определяется набором переменных, к числу которых относятся токи и момент двигателя, скорости и положение элементов ЭП и исполнительного органа рабочей машины и ряд других. Эти переменные в ЭП обычно называются переменными состояния. Наилучшее качество управления в ЭП получается в том случае, когда осуществляется регулирование каждой переменной по заданному критерию.

Если требуется регулирование других координат ЭП или технологического процесса, то используются обратные связи по этим координатам. В дальнейшем изложении именно таким замкнутым системам уделено основное внимание.

Все виды применяемых в замкнутом ЭП обратных связей делятся на положительные и отрицательные, линейное и нелинейные, жесткие и гибкие. Положительной называется такая обратная связь, сигнал которой направлен согласно (складывается) с задающим сигналом, в то время как сигнал отрицательной связи направлен ему встречно (знак «минус» на рис. 1.4, *б*).

Жесткая обратная связь характеризуется тем, что она действует как в установившемся, так и переходном (динамическом) режиме ЭП. Сигнал гибкой обратной связи вырабатывается только в переходных режимах ЭП и служит для обеспечения требуемого их качества, например устойчивости движения, допустимого перерегулирования и т.д.

Линейная обратная связь характеризуется пропорциональной зависимостью между регулируемой координатой и сигналом обратной связи, в то время как при реализации нелинейной связи эта зависимость нелинейная.

В зависимости от вида регулируемой координаты ЭП используются все названные выше связи по скорости, положению, току, напряжению, магнитному потоку, ЭДС.

Однако на пути реализации такого управления часто возникают технические и экономические трудности, связанные с необходимостью установки большого числа датчиков переменных, что усложняет ЭП и удорожает его стоимость. Поэтому в современных ЭП часто отказываются от прямого измерения переменных состояния с помощью различных датчиков и переходят к их вычислению с помощью специального устройства, получившего название наблюдателя.

Основу наблюдателя образует совокупность моделей звеньев ЭП — двигателя, преобразователя, механической передачи, устройств управления — и исполнительного органа рабочей машины, выполненных на базе операционных усилителей или средств микропроцессорной техники. Выходные сигналы (напряжения) этих моделей отражают приближенные значения переменных или, как говорят, дают оценку реальных значений переменных, поскольку модели не учитывают реальных возмущений, действующих на ЭП и рабочую машину, нестабильности параметров ЭП и влияния других факторов функционирования ЭП.

Для повышения точности получаемых оценок переменных состояния значение выходной регулируемой переменной ЭП сравнивают с помощью обратной связи с ее оценкой по полной модели ЭП и исполнительного органа и затем в функции выявленной разницы (ошибки) корректируют показания отдельных моделей. Совокупность полной модели и обратной связи по выходной регулируемой переменной ЭП образует наблюдающее устройство.

Рассмотренные выше схемы отражают структуру системы управления отдельного ЭП. Многие технологические процессы предусматривают объединение в единый комплекс нескольких рабочих машин и механизмов, должным образом между собой взаимодействующих. Наилучший результат работы такого единого технологического комплекса достигается только при его автоматизации, в чем ЭП принадлежит основная роль. За счет соответствующего управления ЭП обеспечивается требуемая последовательность всех технологических операций, достигаются наилучшие (оптимальные) режимы работы промышленного оборудования и самого ЭП, осуществляются необходимые блокировки и защиты.

Для управления технологическими комплексами все шире используются ЭВМ. Они позволяют быстро проводить обработку

большого объема информации о ходе технологического процесса, вырабатывать управляющие воздействия на ЭП рабочих машин и механизмов в соответствии с заданной программой. Особенно широкие возможности открываются при осуществлении автоматизации сложных технологических процессов в использовании микропроцессорной техники управления.

Контрольные вопросы

1. Дайте математическое выражение скоростной и механической характеристики двигателя постоянного тока.
2. Как влияет величина сопротивления якорной цепи на механическую характеристику двигателя?
3. Чем характерен режим рекуперативного торможения двигателя?
4. Как осуществляется режим динамического торможения?
5. Как осуществляется реверс двигателя постоянного тока?
6. Как осуществляется пуск двигателей постоянного тока с различными видами возбуждения?
7. Дайте математическое выражение переходной характеристики привода постоянного тока.

Литература

1. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. — М. : Академия, 2004.
2. Москаленко В. В. Электрический привод : учебник. — М. : Академия, 2007.
3. Зимин Е. Н., Яковлев В. И. Автоматическое управление электроприводами. — М. : Высш. шк., 1999.

2. Электродвигатели переменного тока и их характеристики. Многодвигательный электропривод

Типовые узлы и схемы релейно-контакторного управления асинхронными двигателями строятся по тем же принципам, что и схемы управления двигателями постоянного тока.

Типовые схемы управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором. Двигатели этого типа малой и средней мощности обычно пускаются прямым подключением к сети без ограничения пусковых токов. В этих случаях они управляются с помощью магнитных пускателей, которые одновременно обеспечивают и некоторые виды их защиты.

Схема управления асинхронным двигателем с использованием магнитного пускателя (рис. 2.1) включает в себя магнитный пускатель, состоящий из контактора *KM* и трех встроенных в него тепловых реле защиты *KK*. Схема обеспечивает прямой (без ограничения тока и момента) пуск двигателя, отключение его от сети, а также защиту от коротких замыканий (предохранители *FA*) и перегрузки (тепловые реле *KK*).

Для пуска двигателя замыкают выключатель *QF* и нажимают кнопку пуска *SB*1. Получает питание катушка контактора *KM*, который включившись, своими главными силовыми контактами в цепи статора двигателя подключает его к источнику питания, а вспомогательным контактом шунтирует кнопку *SB*1. Происходит разбег двигателя по его естественной характеристике. Для отключения двигателя нажимается кнопка остановки *SB*2, контактор *KM* теряет питание и отключает двигатель от сети. Начинается процесс торможения двигателя выбегом под действием момента нагрузки на валу.

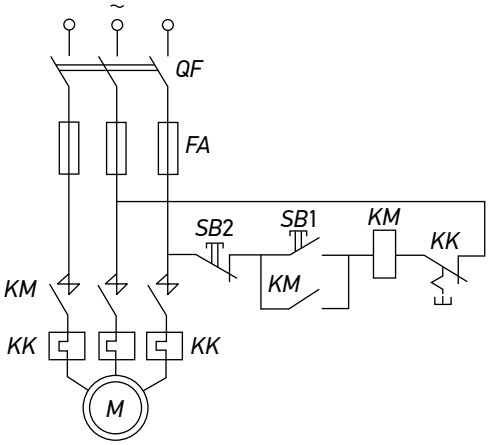


Рис. 2.1. Схема управления асинхронным двигателем с использованием нереверсивного магнитного пускателя

Реверсивная схема управления асинхронным двигателем. Основным элементом схемы является реверсивный магнитный пускатель, который включает в себя два линейных контактора *KM*1 и *KM*2 и два тепловых реле защиты *KK* (рис. 2.2). Схема обеспечивает прямой пуск и реверс двигателя, а также торможение противовключением при ручном (неавтоматическом) управлении.

В схеме предусмотрена защита от перегрузок двигателя (реле *KK*) и коротких замыканий в цепи статора (автоматический выключатель *QF*) и управления (предохранители *FA*). Кроме того, схема управления обеспечивает и нулевую защиту от исчезновения (снижения) напряжения сети (контакторы *KM*1 и *KM*2).

Пуск двигателя при включенном автоматическом выключателе *QF* в условных направлениях «Вперед» или «Назад» осуществляется нажатием соответственно кнопок *SB*1 или *SB*2. Это приводит к срабатыванию контактора *KM*1 или *KM*2, подключению двигателя к сети и его разбегу.

Для реверса или торможения двигателя нажимается кнопка *SB*3, что приводит к отключению включенного до сих пор контактора (например, *KMT*), после чего нажимается кнопка *SB*2. Это приводит к включению контактора *KM*2 и подаче на АД напряжения источника питания с другим порядком чередования фаз. Магнитное поле двигателя изменяет свое направление вращения на противоположное, и начинается процесс реверса, состоящий из двух этапов: торможения противовключением и разбега в противоположную сторону.

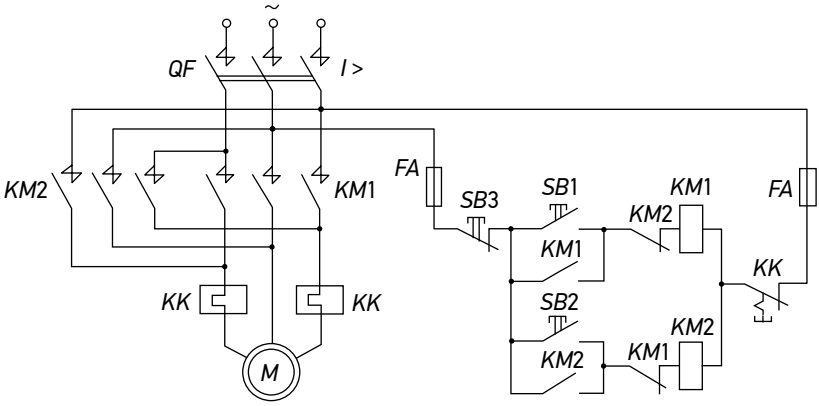


Рис. 2.2. Схема управления асинхронным двигателем с использованием реверсивного магнитного пускателя

В случае необходимости только торможения двигателя при достижении им нулевой скорости должна быть вновь нажата кнопка *SB*3, что приведет к отключению двигателя от сети и возвращению схемы в исходное положение. Если кнопка *SB*3 нажата не будет, то это приведет к разбегу двигателя в другую сторону, т.е. к его реверсу.

Во избежание короткого замыкания в цепи статора, которое может возникнуть в результате одновременного ошибочного нажатия кнопок *SB*1 и *SB*2, в реверсивных магнитных пускателях иногда предусматривается специальная механическая блокировка. Она представляет собой рычажную систему, которая предотвращает втягивание одного контактора, если включен другой. В дополнение к механической блокировке в схеме используется типовая электрическая блокировка, применяемая в реверсивных схемах управления. Она предусматривает перекрестное включение размыкающих контактов аппарата *KM*1 в цепь катушки аппарата *KM*2, и наоборот.

Отметим, что повышению надежности и удобства в эксплуатации способствует использование в схеме воздушного автоматического выключателя *QF*. Его наличие исключает возможность работы привода при обрыве одной фазы, при однофазном коротком замыкании, как это может иметь место при установке предохранителей, а также он не требует замены элементов (как в предохранителях при сгорании их плавкой вставки).

Схема управления многоскоростным асинхронным двигателем. Эта схема (рис. 2.3) обеспечивает получение двух скоростей двигателя путем соединения секций (полуобмоток) обмотки статора в треугольник или двойную звезду, а также его реверсирование. Защита электропривода осуществляется тепловыми реле *KK*1 и *KK*2 и предохранителями *FA*.

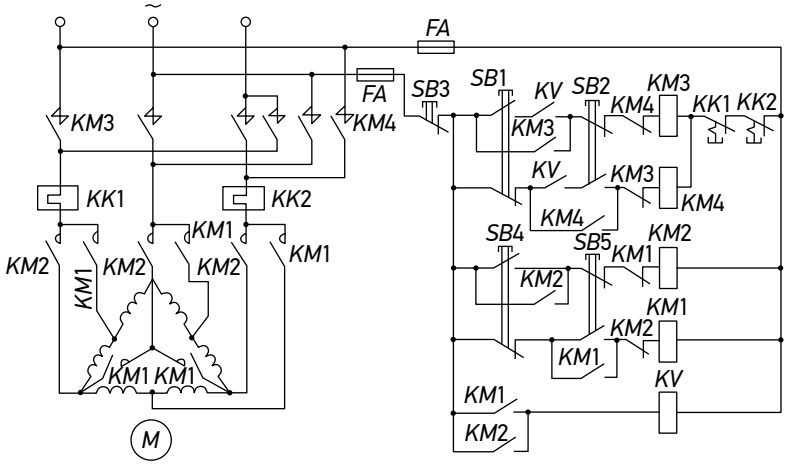


Рис. 2.3. Схема управления двухскоростным асинхронным двигателем

Для пуска двигателя на низкую скорость вращения нажимается кнопка *SB*4, после чего срабатывает контактор *KM*2 и блокировочное реле *KV*. Статор двигателя оказывается включенным по схеме треугольника, а реле *KV*, замкнув свои контакты в цепях катушек аппаратов *KM*3 и *KM*4, подготавливает подключение двигателя к источнику питания. Нажатие кнопки *SB*1 или *SB*2 приводит к включению соответственно в направлении «Вперед» или «Назад».

После разбега двигателя до низкой скорости может быть осуществлен его разгон до высокой скорости. Для этого нажимается кнопка *SB*5, что приведет к отключению контактора *KM*2, включению контактора *KM*1 и пересоединению тем самым секций обмоток статора с треугольника на двойную звезду.

Остановка двигателя производится нажатием кнопки *SB*3, что вызовет отключение всех контакторов от сети и торможение двигателя выбегом.

Применение в схеме двухцепных кнопок управления не допускает одновременного включения контакторов *KM*1 и *KM*2, *KM*3 и *KM*4. Этой же цели служит перекрестное включение размыкающих блок-контактов контакторов *KM*1 и *KM*2, *KM*3 и *KM*4 в цепи их катушек.

Контрольные вопросы

1. Что такое критическое скольжение и критический момент двигателя?
2. Как осуществляется динамическое торможение асинхронного двигателя?
3. Дайте характеристики режима торможения противовключением.
4. Как осуществляется реверс асинхронного двигателя?
5. Особенности двухдвигательного привода с общим механическим валом.
6. Свойства двухдвигательного привода с общим электрическим валом.

Литература

1. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. — М. : Академия, 2004.
2. Москаленко В. В. Электрический привод : учебник. — М. : Академия, 2007.
3. Зимин Е. Н., Яковлев В. И. Автоматическое управление электроприводами. — М. : Высш. шк., 1999.

3. Переходные процессы в электрических приводах. Пусковой режим работы электрических приводов различного типа

Переходный процесс или переходный режим в электрическом приводе характеризуется переходом от одного установившегося состояния к другому, когда изменяются ток, момент сопротивления и скорость двигателя. Типичными переходными режимами работы электропривода являются пусковой режим и режим торможения.

Схема пуска двигателя постоянного тока с независимым возбуждением по принципу времени. Эта схема (рис. 3.1, *а*) содержит кнопки управления *SB*1 (пуск) и *SB*2 (останов) двигателя, линейный контактор *KM*1, обеспечивающий подключение двигателя к сети, и контактор ускорения *KM*2 для выключения (шунтирования) пускового резистора $R_д$. В качестве датчика времени в схеме использовано электромагнитное реле времени *KT*. При подключении схемы к источнику питания напряжением *U* происходит возбуждение двигателя и срабатывает реле *KT*, размыкая свой размыкающий контакт в цепи катушки контактора *KM*2 и подготавливая двигатель к пуску.

Пуск двигателя начинается после нажатия кнопки *SB*, в результате чего получает питание контактор *KM*1, который своим главным силовым контактом подключает двигатель к источнику питания. Двигатель начинает разбег с резистором $R_д$ в цепи якоря, с помощью которого ограничивается пусковой ток двигателя. Одновременно замыкающий блок-контакт контактора *KM*1 шунтирует кнопку *SB*1, и она может быть отпущена, а размыкающий блок-контакт *KM*1 разрывает цепь питания катушки реле време-

ни *КТ*. Через интервал времени $\Delta t_{к.т}$ после прекращения питания катушки реле времени, называемый выдержкой времени, размыкающий контакт *КТ* замкнется в цепи катушки контактора *КМ*2, последний включится и главным контактом закоротит пусковой резистор $R_д$, в цепи якоря. Таким образом, при пуске двигатель в течение времени $\Delta t_{к.т}$ разгоняется по искусственной характеристике *1* (рис. 3.1, *б*), а после шунтирования резистора $R_д$ — по естественной *2*. Величина сопротивления резистора $R_д$ выбрана таким образом, что в момент включения двигателя ток I_1 в цепи и соответственно момент M_1 не превосходят допустимого уровня.

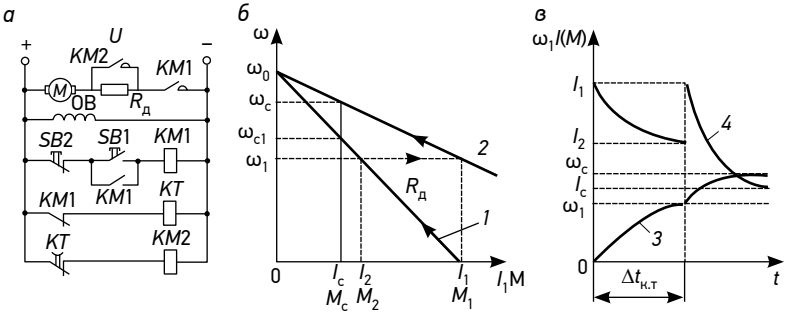


Рис. 3.1. Схема пуска двигателя:
а — по принципу времени, *б* — характеристики двигателя,
в — кривые переходного процесса

За время $\Delta t_{к.т}$ после начала пуска скорость вращения двигателя достигает величины ω_1, а ток в цепи якоря снижается до уровня I_2 (рис. 3.1, *в*). После шунтирования Д происходит бросок тока в цепи якоря от I_2 до I_1, который не превышает допустимого уровня. Изменение скорости, тока и момента во времени происходит по экспоненте.

Останов двигателя осуществляется нажатием кнопки *SB*2, что приведет к отключению якоря двигателя от источника питания и его торможению под действием момента сопротивления на его валу. Такой способ останова двигателя получил название «торможение выбегом».

Схема пуска двигателя в две ступени по принципу ЭДС и динамического торможения по принципу времени. В этой схеме (рис. 3.2, *а*) в качестве датчика ЭДС использован якорь двигателя, к которому подключены катушки контакторов ускорения *КМ*1 и *КМ*2,

обеспечивающих шунтирование пусковых резисторов $R_{у1}$ и $R_{у2}$. С помощью регулировочных резисторов $R_{у1}$ и $R_{у2}$ эти контакторы могут быть настроены на срабатывание при определенных скоростях двигателя.

Для осуществления торможения в схеме предусмотрен резистор $R_{д3}$, подключение и отключение которого осуществляется контактором торможения *KM*3. Для обеспечения выдержки времени используется электромагнитное реле времени *KT*, размыкающий контакт которого включен в цепь катушки контактора торможения *KM*2.

После подключения схемы к источнику питания происходит возбуждение двигателя, а аппараты схемы остаются в исходном положении. Пуск двигателя осуществляется нажатием кнопки *SB*1, что приводит к срабатыванию линейного контактора *KM* и подключению двигателя к источнику питания. Двигатель начинает разбег с включенными резисторами $R_{Д1} + R_{Д2}$ в цепи якоря по характеристике *1* (рис. 3.2, *б*). По мере увеличения скорости двигателя растет его ЭДС и соответственно напряжение на катушках контакторов *KM*1 и *KM*2. При скорости ω_1 срабатывает контактор *KM*1, закорачивая своим контактом первую ступень пускового резистора $R_{Д2}$, и двигатель переходит на характеристику *2*. При скорости ω_2 срабатывает контактор *KM*2, шунтируя вторую ступень пускового резистора $R_{Д2}$. Двигатель выходит на естественную характеристику *3* и заканчивает свой разбег в точке установившегося режима с координатами $\omega_с - M_с$, определяемой пересечением естественной характеристики *3* двигателя и характеристики нагрузки.

Для перехода к режиму торможения нажимается кнопка *SB*2. Катушка контактора *KM* теряет питание, размыкается замыкающий силовой контакт *KM* в цепи якоря двигателя, и он отключается от источника питания. Размыкающий блок-контакт *KM* в цепи катушки контактора торможения *KM*3 замыкается, последний срабатывает и своим главным контактом подключает резистор $R_{Д3}$ к якорю *M*, переводя двигатель в режим динамического торможения по характеристике *4* (рис. 3.2, *б*). Одновременно размыкается замыкающий контакт контактора *KM* в цепи реле времени *KT*, оно теряет питание и начинает отсчет времени. Через интервал времени, который соответствует снижению скорости двигателя до нуля, реле времени отключается и своим контактом разрывает цепь питания контактора *KM*3. Резистор $R_{Д3}$ отключается от якоря *M* двигателя, торможение заканчивается, и схема возвращается в свое исходное положение.

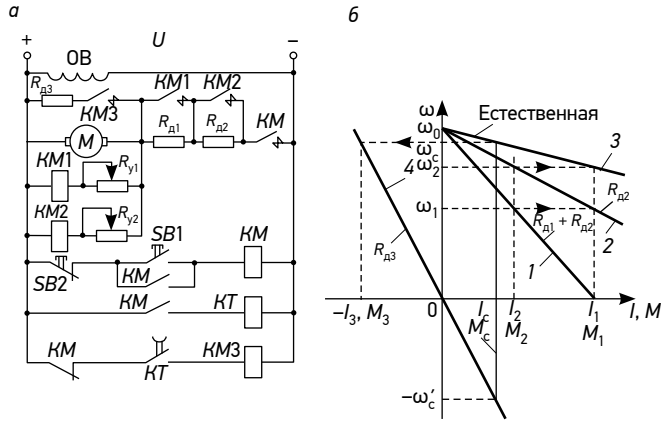


Рис. 3.2. Схема пуска двигателя по принципу ЭДС и динамического торможения:
а — по принципу времени, *б* — характеристики двигателя

Применение динамического торможения обеспечивает более быстрый останов двигателя и тем самым быстрое прекращение движения исполнительного органа рабочей машины.

Схема управления пуском двигателя по принципу времени, реверсом и торможением противовключением по принципу ЭДС. В этой схеме (рис. 3.3, *а*) предусмотрено два линейных контактора *КМ*1 и *КМ*2, обеспечивающих его вращение в условных направлениях «Вперед» и «Назад». Главные контакты этих аппаратов образуют реверсивный контактный мостик, с помощью которого можно изменить полярность напряжения на якоре *М* и тем самым осуществлять торможение противовключением и реверс (изменение направления вращения) двигателя. В якорной цепи помимо пускового резистора $R_{Д1}$ включен резистор противовключения $R_{Д2}$, который управляется контактором противовключения *КМ*3.

Управление двигателем при торможении противовключением и реверсе осуществляется с помощью двух реле противовключения *KV*1 и *KV*2. Их назначение в том, чтобы в режиме противовключения для ограничения тока в якоре до допустимого уровня обеспечить ввод в цепь якоря в дополнение к пусковому резистору $R_{Д1}$ резистор противовключения $R_{Д2}$, что достигается выбором точки присоединения катушек реле *KV*1 и *KV*2 к резистору ($R_{Д1} + R_{Д2}$).

Пуск двигателя в любом направлении осуществляется в одну ступень в функции времени. При нажатии, например кнопки *SB*1,

срабатывает контактор *КМ*1 и подключает якорь *М* к источнику питания. За счет падения напряжения на резисторе $R_{Д1}$ от пускового тока срабатывает реле времени *КТ*, размыкающее свой контакт в цепи контактора *КМ*4.

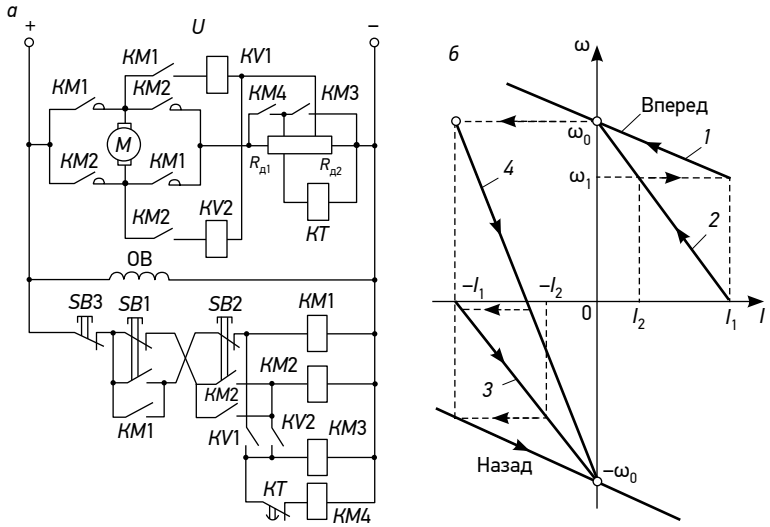


Рис. 3.3. Схема управления:
а — пуском и реверсом двигателя, *б* — характеристики двигателя

Включение *КМ*1 приведет также к срабатыванию реле *KV*1, которое замкнет свой замыкающий контакт в цепи контактора противовключения *КМ*3. Это вызовет включение *КМ*3, что приведет к закорачиванию ненужного при пуске резистора противовключения $R_{Д2}$ и одновременно катушки реле времени *КТ*. Двигатель начнет разбег по характеристике *2* (рис. 3.3, *б*), а реле времени *КТ*– отсчет выдержки времени.

По истечении выдержки времени реле *КТ* замкнет свой контакт в цепи катушки контактора *КМ*, он включится, закоротит пусковой резистор $R_{Д1}$, и двигатель выйдет на свою естественную характеристику *1*.

Для осуществления торможения нажимается кнопка *SB*2, в результате чего отключаются контактор *КМ*1, реле *KV*1, контакторы *КМ*3 и *КМ*4 и включается контактор *КМ*2. Напряжение на якоре двигателя изменяет свою полярность, и двигатель переходит в режим торможения противовключением с двумя резисторами в цепи

якоря $R_{Д1}$ и $R_{Д2}$. Несмотря на замыкание контакта *KM*2 в цепи реле *KV*2, оно в результате оговоренной выше настройки не включается и тем самым не дает включиться аппаратам *KM*3 и *KM*4 и зашунтировать резисторы $R_{Д1}$ и $R_{Д2}$.

Перевод двигателя в режим противовключения соответствует его переходу с естественной характеристики *1* на искусственную характеристику *4* (рис. 3.3, *б*). Во всем диапазоне скоростей $0<\omega<\omega_0$ на этой характеристике двигатель работает в режиме противовключения.

По мере снижения скорости двигателя растет напряжение на катушке реле *KV*2, и при скорости, близкой к нулю, оно достигнет напряжения срабатывания. Если к этому моменту времени кнопка *SB*2 будет отпущена, то отключается контактор *KM*2, схема возвращается в исходное положение, и на этом процесс торможения заканчивается.

Если же при достижении малой скорости кнопка *SB*2 остается нажатой, то включается реле *KV*2 и процесс пуска двигателя повторяется, но уже в противоположную сторону. Таким образом, реверсирование двигателя включает в себя два этапа: торможение противовключением и пуск в противоположном направлении. Второй этап реверса изображен на рис. 3.3 переходом двигателя с характеристики *4* на характеристику *3*, соответствующую обратной полярности напряжения на якоре двигателя и наличию в якоре добавочного резистора $R_{Д1}$.

Контрольные вопросы

1. Дайте переходную характеристику скорости и момента двигателя.
2. Характер пусковых диаграмм двигателей постоянного тока.
3. Особенности получения пусковых диаграмм асинхронных двигателей.
4. Переходный процесс в системе «*управляемый преобразователь — двигатель*».

Литература

1. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. — М. : Академия, 2004.
2. Москаленко В. В. Электрический привод : учебник. — М. : Академия, 2007.

4. Регулирование скорости электроприводов постоянного тока с различным видом возбуждения

Регулирование скорости электроприводов осуществляется в тех случаях, когда требуется обеспечить движение исполнительных органов рабочих машин с высокими показателями качества — большим диапазоном регулирования координат и точностью их поддержания, заданным качеством переходных процессов, а также высокой экономичностью или оптимальным (наилучшим) функционированием технологического оборудования и самого электропривода.

Для обеспечения такого управления в структуру электропривода входит силовой управляемый полупроводниковый преобразователь электроэнергии -выпрямитель, регулятор напряжения, преобразователь частоты, а схема управления строится с использованием обратных связей по регулируемым координатам (переменным). Другими словами, силовая часть такого электропривода имеет структуру «*преобразователь — двигатель*», в которой двигатель питается от управляемого преобразователя.

Важной характеристикой большинства современных замкнутых систем управления является возможность гибкой настройки их параметров, программирования и перепрограммирования алгоритмов управления электропривода, что обеспечивается применением микропроцессорных средств управления. Использование микропроцессорных средств позволяет также повышать надежность функционирования электроприводов и технологического оборудования за счет диагностики при их работе, резервирования каналов управления и т.д.

Характеристики разомкнутых электроприводов, построенных по системе «*преобразователь — двигатель*» (П-Д), могут имеют относительно невысокую жесткость из-за наличия внутреннего со-

противления преобразователя и самого двигателя. Для получения значительных диапазонов и высокой точности регулирования скорости требуется иметь более жесткие характеристики, которые можно подучить лишь в замкнутой системе П-Д. Кроме того, характеристики разомкнутой системы не обеспечивают точного регулирования (или ограничения) тока и момента, что также требует перехода к замкнутой системе П-Д. Рассмотрим принципы построения и действия замкнутых схем регулирования скорости, тока, момента и положения с использованием различных обратных связей.

Замкнутая система П-Д с отрицательной обратной связью по скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения. Основу системы составляет разомкнутая схема П-Д. На валу двигателя находится датчик скорости — тахогенератор ТГ (рис. 4.1, *а*), выходное напряжение которого $U_{ТГ} = \gamma a$, пропорциональное скорости двигателя, является сигналом обратной связи. Коэффициент пропорциональности γ носит название коэффициента обратной связи по скорости и может регулироваться за счет изменения тока возбуждения тахогенератора $I_{ТГ.}$

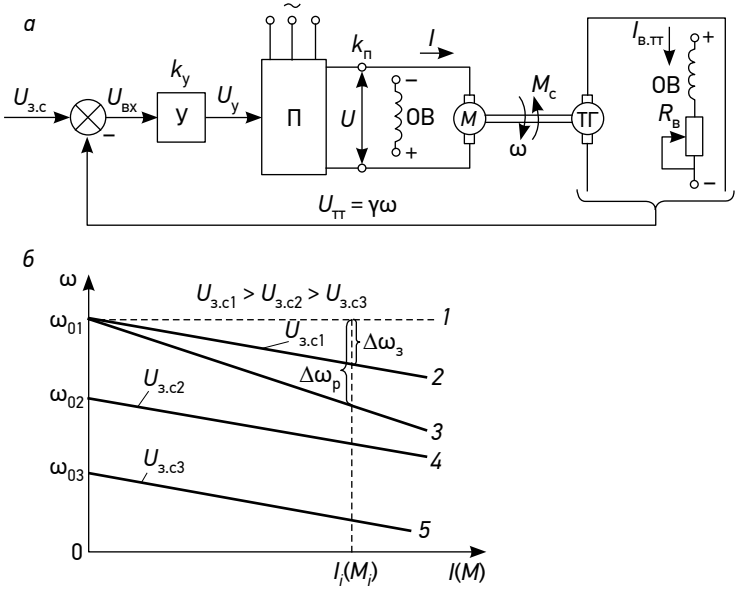


Рис. 4.1. Замкнутая система с обратной связью по скорости:
а — схема; *б* — характеристики

Сигнал обратной связи $U_{ТГ}$ сравнивается с задающим сигналом скорости $U_{з.с}$, и их разность в виде сигнала рассогласования (ошибки) $U_{вх}$ подается на вход усилителя *У*, который с коэффициентом $k_у$, усиливает сигнал рассогласования $U_{вх}$ и подает его в виде сигнала управления $U_у$ на вход преобразователя П, в качестве которого используется управляемый выпрямитель. Усилитель в этой схеме является пропорциональным регулятором скорости.

Для получения формул характеристик двигателя в замкнутой системе воспользуемся выражениями для электромеханической ω (*M*) и механической ω (*I*) характеристик двигателя в разомкнутой схеме и соотношениями, следующими из рассмотрения рис. 4.1, *а*

$$\omega(I) = \frac{E_п}{k_Ф} = \frac{I(R_я + R_п)}{k_Ф};$$

$$\omega(M) = \frac{E_П}{k_Ф} = \frac{M(R_я + R_п)}{k_Ф};$$

$$U_{вх} = U_{з.с} - \gamma\omega;$$

$$U_у = k_у U_{вх};$$

$$E_п = k_п U_у;$$

где $E_п$ — ЭДС преобразователя; k — конструктивный коэффициент двигателя; Ф — магнитный поток двигателя; I — ток якоря двигателя; $R_я$, $R_п$ — соответственно сопротивление якоря двигателя и преобразователя: M — момент двигателя.

Заменяя последовательно $E_п$ на ее выражение $U_у$ и $U_{вх}$, и далее, после несложных преобразований получаем следующие формулы для характеристик двигателя в замкнутой системе:

$$\omega = \frac{k_у k_п U_{з.с}}{c(1 + k_с)} - \frac{I(R_я + R_п)}{c(1 + k_с)};$$

$$\omega = \frac{k_у k_п U_{з.с}}{c(1 + k_с)} - \frac{M(R_я + R_п)}{c^2(1 + k_с)};$$

где $c = k_Ф$; $k_с = \gamma k_у k_п / c$ — общий коэффициент усиления замкнутой системы П-Д.

Для анализа жесткости получаемых характеристик сопоставим перепады скорости в разомкнутой $\Delta\omega_p$ и замкнутой $\Delta\omega_з$ системах при одном и том же токе или моменте:

$$\Delta\omega_р = \frac{I_у(R_я + R_п)}{c};$$

$$\Delta\omega_з = \frac{I_у(R_я + R_п)}{c(1+k_с)} = \Delta\omega_р(1+k_с).$$

Так как всегда $k_с > 0$, то $\Delta\omega_з < \Delta\omega_р$, т.е. жесткость получаемых характеристик в замкнутой системе больше жесткости характеристик в разомкнутой системе. Сами характеристики, показанные на рис. 4.1, *б*, представляют собой прямые параллельные линии *2*, *4* и *5*, расположение которых определяется уровнем задающего сигнала по скорости $U_{з.с}$ и соответственно скоростью холостого хода ω_0. Здесь же для сравнения приведена характеристика двигателя в разомкнутой (прямая *3*) системе.

Для нахождения предельной по жесткости характеристики устремим коэффициент усиления системы $к_с$ в бесконечность. Видно, что при $k_c \to \infty \Delta w_з \to 0$, т.е. в пределе в данной замкнутой системе может быть получена абсолютно жесткая характеристика, которая изображена на рис. 4.1, *б* в виде штриховой линии *1*.

Рассмотрим физическую сторону процесса регулирования скорости в данной системе. Предположим, что двигатель работает под нагрузкой в установившемся режиме и по каким-то причинам увеличился момент нагрузки M_c. Так как развиваемый двигателем момент стал меньше момента нагрузки, его скорость начнет снижаться, и соответственно будет снижаться сигнал обратной связи по скорости $U_{ТГ} = \gamma\omega$. Это, в свою очередь, вызовет увеличение сигналов рассогласования U_m и управления U_y и приведет к повышению ЭДС преобразователя, а следовательно, напряжения и скорости двигателя.

При уменьшении момента нагрузки обратная связь действует в другом направлении, приводя к снижению ЭДС преобразователя. Таким образом, благодаря наличию обратной связи осуществляется автоматическое регулирование ЭДС преобразователя и тем самым подводимого к двигателю напряжения, за счет чего получаются более жесткие характеристики электропривода. В разомкнутой системе, напротив, при изменении момента нагрузки ЭДС

преобразователя не изменяется, в результате чего жесткость характеристик электропривода оказывается меньше.

Для получения жестких характеристик в системе П-Д кроме обратной связи по скорости используются также отрицательная обратная связь по напряжению и положительная обратная связь по току двигателя и их сочетания.

Схема управления, обеспечивающая ограничение тока и момента двигателя постоянного тока с помощью нелинейной отрицательной обратной связи по току. В качестве датчика тока в этой схеме (рис. 4.2, *а*) используется шунт с сопротивлением $R_ш$, падение напряжения на котором пропорционально току якоря I. В результате сигнал обратной связи по току

$$U_{о.т} = \beta I;$$

где β — коэффициент обратной связи по току, Ом.

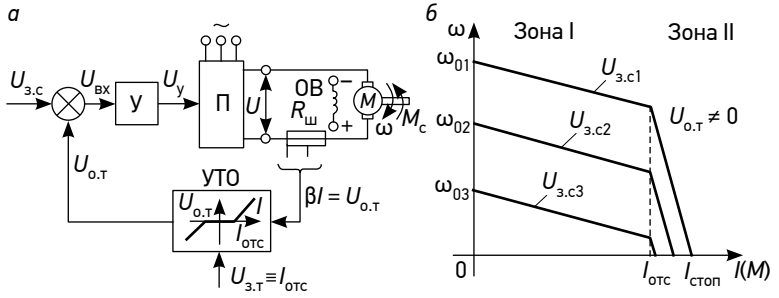


Рис. 4.2. Замкнутая система с обратной связью по току:
а — схема; *б* — характеристики

Отметим, что в качестве шунта $R_ш$ часто используется обмотка дополнительных полюсов или компенсационная обмотка двигателя.

Сигнал обратной связи U_{BJ} поступает на узел токоограничения УТО, называемый также узлом токовой отсечки, вместе с сигналом задания тока $U_{з.т}$. Этот сигнал определяет уровень тока отсечки $I_{отс}$, с которого начинается регулирование (ограничение) тока.

Работа УТО в соответствии с его характеристикой $U_{о.т}(I)$ (рис. 4.2, *а*) происходит следующим образом. При токе в якоре, меньшем заданного тока отсечки, т.е. пока $I \le I_{отс}$, сигнал обратной связи на выходе УТО равен нулю. Другими словами, схема в диапазоне

тока $0...I_{отс}$ является разомкнутой и двигатель имеет характеристики, изображенные на рис. 4.2, *б* в зоне I.

При $I > I_{отс}$ на выходе УТО появляется сигнал отрицательной обратной связи $U_{о.т} = \beta I$. Электропривод становится замкнутым и начинает работать в зоне II (рис. 4.2, *б*). Для пояснения вида характеристик электропривода в этой зоне запишем выражение для сигнала рассогласования

$$U_{вх} = U_{з.с} - \beta I;$$

При увеличении тока I сигнал $R_{ш}$ уменьшается, что вызовет уменьшение сигнала $U_{у}$ и $E_{п}$. Это приведет к уменьшению напряжения на двигателе U и соответствующему снижению тока в якоре двигателя. Характеристики двигателя становятся крутопадающими (мягкими), что и отражает эффект регулирования (ограничения) тока и соответственно момента. При увеличении коэффициента усиления системы характеристики в зоне II все ближе приближаются к вертикальным линиям. Уровень ограничения тока определяется задающим сигналом (уставкой) $U_{з.т}$. Ток при нулевой скорости двигателя получил название тока стопорения $I_{стоп}$.

Контрольные вопросы

1. В чем принцип реостатного регулирования скорости?
2. Приведите математическую зависимость скорости от сопротивления якорной цепи.
3. Дайте реостатные характеристики двигателя.
4. Как осуществляется регулирование скорости изменением потока возбуждения?
5. Какие бывают схемные решения регулирования скорости шунтированием обмотки якоря?

Литература

1. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. — М. : Академия, 2004.
2. Зимин Е. Н., Яковлев В. И. Автоматическое управление электроприводами. — М. : Высш. шк., 1999.

5. Регулирование скорости электропривода изменением питающего напряжения

Замкнутая схема электропривода с двигателем постоянного тока и обратными связями по скорости и току. Эта схема обеспечивает получение характеристик двигателя, имеющих различную жесткость участков, — высокую для точного поддержания скорости на заданном уровне, и малую, что требуется для ограничения тока и момента двигателя в переходных процессах. Это определяется использованием в схеме двух нелинейных обратных связей по скорости и току (рис. 5.1, *а*). Для создания нелинейности цепей обратных связей использованы рассмотренный ранее узел УТО и узел ограничения скорости УСО, характеристики которых показаны внутри соответствующих условных изображений. Нелинейность обратных связей приводит к разделению области механических характеристик (рис. 5.1, *б*) на три зоны: I, II и III.

В зоне I в диапазоне токов 0... $I_{отс}$ действует только обратная связь по скорости, обеспечивая жесткие характеристики электропривода. В зоне II при $I > I_{отс}$ вступает в действие обратная связь по току и характеристики становятся мягче. При дальнейшем увеличении тока и уменьшении скорости ниже скорости отсечки $\omega_{отс}$ перестает действовать обратная связь по скорости и за счет действия обратной связи по току характеристики становятся еще мягче (зона III), обеспечивая требуемое ограничение тока и момента.

Схема управления с подчиненным регулированием координат. Эффективное и качественное регулирование координат в системе П-Д обеспечивает принцип подчиненного регулирования. Напомним, что этот принцип предусматривает регулирование каждой координаты с помощью своего отдельного регулятора и соответствующей обратной связи. Тем самым регулирование каждой координаты происходит в своем замкнутом контуре, и требуемые

характеристики электропривода в статике и динамике могут быть получены за счет выбора схемы и параметров регулятора этой координаты и цепи ее обратной связи.

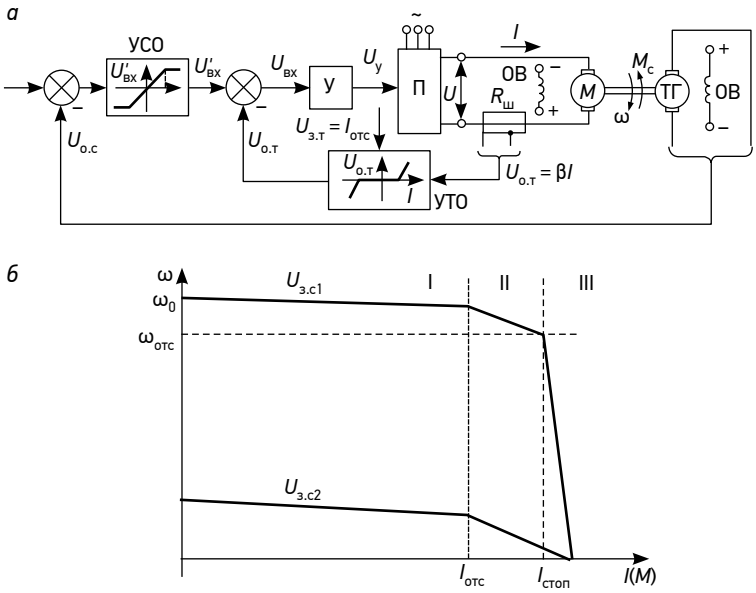


Рис. 5.1. Замкнутая система
с обратными связями по скорости и току:
а — схема, *б* — характеристики

Управление внутренним контуром с помощью выходного сигнала внешнего контура определяет еще одно ценное свойство таких систем. Оно заключается в возможности простыми средствами ограничивать любую регулируемую координату, например ток и момент, на заданном уровне. Для этого требуется всего лишь ограничить сигнал, поступающий с внешнего контура.

Рассмотрим схему электропривода (рис. 5.2, *а*) с подчиненным регулированием, выходной регулируемой координатой которого является скорость. Управляющая часть схемы состоит из двух замкнутых контуров регулирования: тока (момента), содержащего регулятор тока РТ и датчик тока ДТ, и скорости, содержащего регулятор скорости РС и датчик скорости (тахогенератор) ТГ.

Регуляторы тока и скорости в большинстве схем электропривода этого типа выполняются на базе операционных усилителей (ОУ).

Включение в цепи РС задающего сигнала скорости $U_{з.с}$ и его обратной связи — резисторов $R1$ и $R_{о.с.1}$ — обеспечивает изменение (усиление или ослабление) этого сигнала с коэффициентом $k_2 = R_{о.с.1}/R1$. Аналогично изменение сигнала обратной связи по скорости $U_{о.с}$ происходит с коэффициентом $k_1 = R_{о.с.1}/R2$. Такой регулятор получил название пропорционального (П) регулятора скорости.

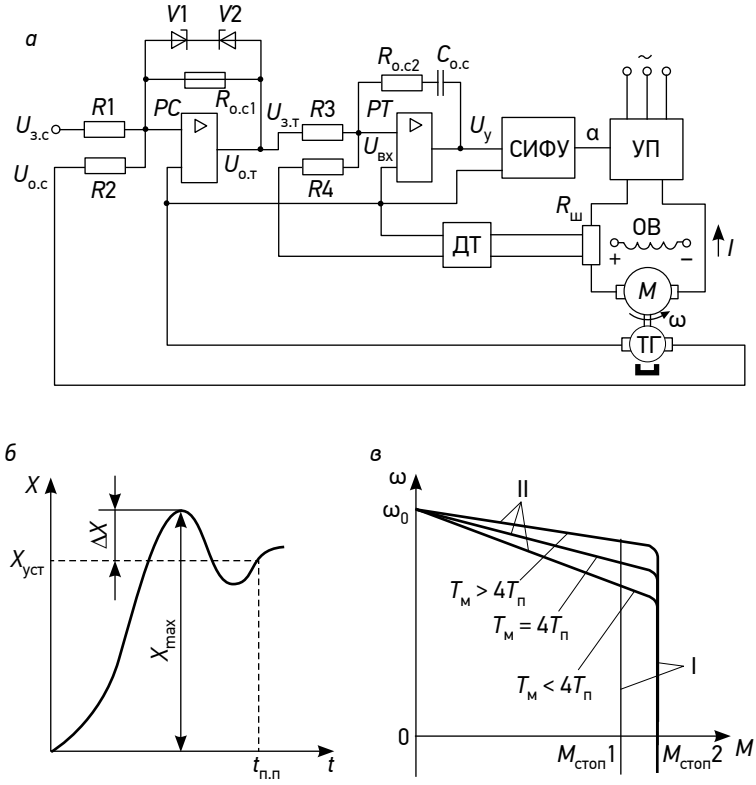


Рис. 5.2. Электропривод с подчиненным регулированием координат: *а* — схема, *б* — динамические характеристики, *в* — статические характеристики

При включении в цепи ОУ конденсаторов (реактивных электрических элементов) его функциональные возможности по преобразованию электрических сигналов становятся шире. Так, схема *PT* с включением в цепь обратной связи конденсатора $C_{о.с}$ последовательно с резистором $R_{о.с.2}$ позволяет получить сигнал U_y на выходе *PT* в виде суммы двух составляющих

$$U_{\text{у}} = k_{\text{з}} U_{\text{вх}} + \frac{1}{T} \int U_{\text{вх}} dt.$$

Сигнал U_y содержит пропорциональную и интегральную составляющие входного сигнала $U_{\text{вх}}$, т.е. *PT* является в этом случае пропорционально-интегральным (ПИ) регулятором. По каким же критериям и условиям выбираются схема и параметры цепей того или иного регулятора? Основным условием здесь является желаемый (заданный) характер переходных процессов при регулировании координат. Из всех возможных видов обычно выбирают график с затухающими колебаниями. Такой график является оптимальным в том смысле, что он позволяет обеспечить устойчивые переходные процессы при небольших длительностях и перерегулированиях. Распространенной настройкой регуляторов такого вида является так называемый технический оптимум, при котором перерегулирование $\Delta X = X_{\max} - X_{\text{уст}}$ составляет 4,3 % установившегося уровня, а время переходного процесса $t_{\text{п.п}} = 4{,}1\ T_{\text{п}}$, где $T_{\text{п}}$ — электромагнитная постоянная времени тиристорного преобразователя, принимаемая обычно равной 0,01 с. В теории электропривода разработаны методы расчета параметров цепей *PC* и *PT*, обеспечивающих такой характер регулирования координат электропривода.

Как уже отмечалось, схема подчиненного регулирования координат позволяет простыми средствами ограничивать координаты электропривода на заданном уровне. В схеме для ограничения тока и момента в цепь обратной связи *PC* включены стабилитроны *VD*1 и *VD*2. В результате этого выходное напряжение *PC*, являющееся входным задающим сигналом (уставкой) тока $U_{\text{з.т}}$, ограничивается, тем самым ток и момент двигателя не могут превзойти заданного уровня.

На рис. 5.2, *в* приведены статические характеристики электропривода с подчиненным регулированием координат и настройкой на «технический оптимум». Их особенность — наличие вертикального участка I, обеспечивающего ограничение тока и момента, и участка II с высокой жесткостью характеристики, определяемой соотношениями двух постоянных времени — электромеханической двигателя $T_{\text{м}}$ и электромагнитной $T_{\text{п}}$ преобразователя.

В схемах подчиненного регулирования используется и другой критерий настройки регуляторов по так называемому симметричному оптимуму, который позволяет получить абсолютно жесткие статические характеристики на участке II (рис. 5.2, *в*), но переходные процессы в этом случае характеризуются большим

перерегулированием, доходящим до 55%. При настройке на «симметричный оптимум» *РС* выполняется как ПИ-регулятор. При необходимости регулирования положения вала двигателя схема на рис. 5.2, *а* дополняется контуром положения, включающим в себя регулятор положения и датчик положения вала двигателя.

Отметим в заключение, что в силу своих больших функциональных возможностей схемы с подчиненным регулированием координат нашли очень широкое распространение в регулируемом электроприводе как постоянного, так и переменного тока.

Замкнутая схема управления электроприводом по системе «*источник тока — двигатель постоянного тока*». В электроприводах с двигателями постоянного тока нашли применение источники питания двигателей со свойствами источника тока. Такие электроприводы в разомкнутой структуре обладают свойствами источника момента, регулируемого по цепи возбуждения, а при введении обратной связи по скорости позволяют получать характеристики, пригодные и для целей регулирования скорости.

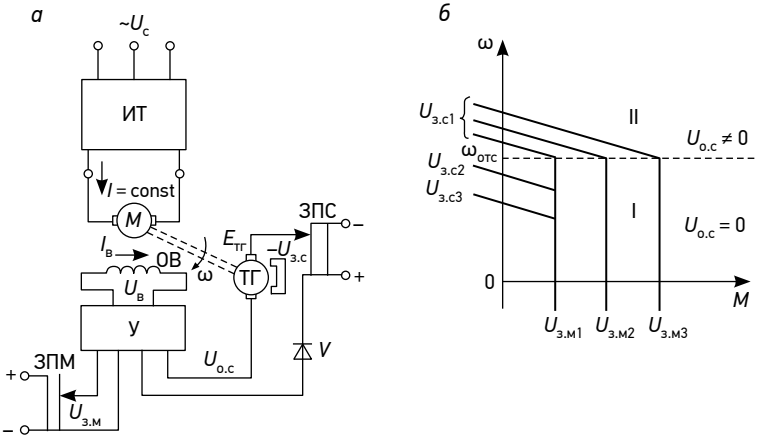


Рис. 5.3. Замкнутая система
при питании двигателя от источника тока:
а — схема, *б* — характеристики

Силовую часть этой схемы (рис. 5.3, *а*) образуют источник тока ИТ и якорь двигателя *М*, обмотка возбуждения которого ОВ подключена к усилителю У, имеющему два входа. По первому входу на усилитель с потенциометра ЗПМ поступает задающий сиг-

нал момента U_{3M}, уровень которого определяет величину момента на вертикальном участке механической характеристики (рис. 5.3, *б)*.

На второй вход У по цепи, состоящей из тахогенератора ТГ, диода *V* задающего потенциометра скорости ЗПС, подается сигнал нелинейной отрицательной обратной связи по скорости $U_{о.с}$. Цепь обратной связи собрана и настроена таким образом, что диод *V* начнет пропускать ток по ней только тогда, когда ЭДС тахогенератора превышает задающий сигнал по скорости $U_{з.с}$, что произойдет при скоростях, больших $\omega_{отс}$. При скоростях $\omega < \omega_{отс}$ диод *V* закрыт и обратная связь по скорости не действует ($U_{о.с} = 0$). Нелинейный характер обратной связи по скорости определяет наличие двух зон на плоскости механических характеристик рис. 5.3, *б*. При $\omega < \omega_{отс}$ (зона I) $U_{о.с} = 0$ и на вход У подается неизменный по величине сигнал задания момента $U_{з.м}$. Напряжение возбуждения на его выходе $U_в$, ток возбуждения $I_в$ и определяемый им момент *M* постоянны, что и определяет вертикальные участки характеристик на рис. 5.3, *б*.

При $\omega > \omega_{отс}$ (зона II на рис. 5.3, *б*) открывается диод *V* и на входе *У* появляется сигнал обратной связи по скорости, противоположный по знаку сигналу $U_{з.м}$. Суммарный сигнал U_y на входе *У* станет равным

$$U_у = U_{з.м} - U_{о.с} = U_{з.м} - \gamma\omega.$$

Как видно, при увеличении скорости сигнал U_y на входе *У* будет снижаться, пропорционально ему будут уменьшаться напряжение $U_в$ на выходе У, ток возбуждения $I_в$ двигателя и тем самым его момент. Механические характеристики приобретают вид наклонных прямых, показанных на рис. 5.3, *б*. Таким образом, рассматриваемая схема электропривода обеспечивает регулирование двух координат — скорости и момента. Величина сигнала $U_{3М}$ определяет уровень момента двигателя в зоне I характеристик, а величина сигнала $U_{3С}$ — уровень скорости двигателя. Жесткость механических характеристик в зоне II определяется общим коэффициентом усиления электропривода.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается принцип действия электромашинного усилителя?
2. Дайте схему транзисторного и магнитного усилителей управления скоростью.

3. В чем принцип тиристорного регулирования скорости двигателей?
4. Приведите схемы нереверсивного и реверсивного способов тиристорного управления скоростью электроприводом.

Литература

1. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. — М. : Академия, 2004.
2. Москаленко В. В. Электрический привод: учебник. — М. : Академия, 2007.
3. Зимин Е. Н., Яковлев В. И., Автоматическое управление электроприводами. — М. : Высш. шк., 1999.

6. Импульсное регулирование скорости привода постоянного тока

В качестве примера рассмотрим схему реализации реального замкнутого электропривода с двигателем постоянного тока независимого возбуждения.

Схема управления серийного электропривода типа ЭТЗР. Для привода механизмов различных металлообрабатывающих станков, требующих регулирования скорости при мощности до 11 кВт, используется серийный комплектный электропривод типа ЭТЗР (рис. 6.1) с двигателями серий ПБСТ, 2П или ПГТ. Электропривод этого типа выполнен в виде замкнутой системы регулирования скорости с отрицательной обратной связью по скорости, которая в зависимости от настройки обеспечивает относительный перепад скорости в пределах 0,5–10 % при изменении момента нагрузки от $0,1M_{\text{ном}}$, до $M_{\text{ном}}$. В электроприводе обеспечивается также регулирование (ограничение) тока с помощью устройства токоограничения УТО. Для обеспечения устойчивости и требуемого качества переходных процессов электропривода в схеме применены гибкие обратные связи по скорости двигателя и результирующему сигналу управления $U_{\text{у}2}$.

Якорь двигателя, имеющего встроенный тахогенератор *BR*, получает питание от реверсивного тиристорного преобразователя с двумя комплектами тиристоров *VS*1–*VS*6, составляющих выпрямительную и инверторную группы. Управление этими группами осуществляется с использованием согласованного совместного принципа.

Для уменьшения переменной составляющей уравнительного тока, протекающей между выпрямительной и инверторной группами, в схеме используются ограничительные реакторы *L*1 и *L*2. Включение в цепь якоря сглаживающего реактора *L*3 позволяет исключить режим прерывистого тока и повысить использование двигателя по току.

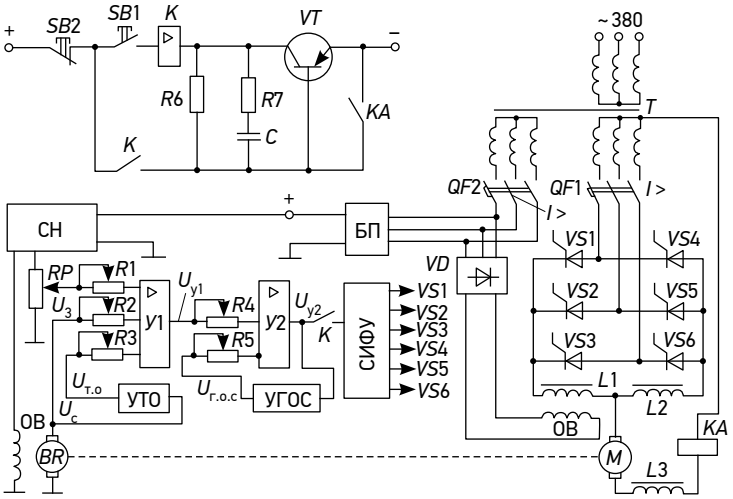


Рис. 6.1. Схема серийного электропривода типа ЭТЗР

Управление тиристорами *VS*1–*VS*6 обеспечивается транзисторной схемой импульсно-фазового управления СИФУ, работающей по вертикальному принципу. Она имеет три канала, каждый из которых работает на два тиристора, включенных в одну фазу.

Питание электропривода осуществляется от трехфазного трансформатора *T* с двумя вторичными обмотками. К одной из них, имеющей нулевой вывод, подключена силовая часть привода, а ко второй — обмотка возбуждения ОВ (через выпрямитель *VD*) и блок питания БП, от которого питается схема управления. Обмотка ОВ тахогенератора получает питание от стабилизатора напряжения СН.

В состав схемы управления электропривода входят промежуточный усилитель У1, усилитель мощности (эмитгерный повторитель) У 2, узел токоограничения УТО, узел гибкой обратной связи УГОС, задающий потенциометр *RP*, кнопки управления *SB*1 и *SB*2 и пусковое реле *K*.

Сигнал управления U_{y1} формируется как алгебраическая сумма сигналов задающего $U_з$, обратной связи по скорости $U_с$ и токоограничения $U_{т.о}$, для выработки которого используется нелинейная положительная обратная связь по скорости двигателя. При токе якоря, меньшем тока отсечки, работает только контур регулирования скорости. При токе якоря, превышающем ток отсечки, за счет нелинейности цепи токоограничения отрицательная обратная связь по скорости ДПТ отключается и начинает действовать положи-

тельная обратная связь, обеспечивая ограничение тока и момента на заданном уровне.

Для обеспечения необходимого качества переходных процессов электропривода в схеме используется гибкая обратная связь, действующая только в переходных процессах. Сигнал корректирующей гибкой обратной связи $U_{г.о.с}$ вместе с сигналом управления $U_{у1}$ поступает на вход усилителя мощности *У*2 и после усиления в виде результирующего сигнала $U_{у2}$ подается на вход СИФУ через замыкающий контакт пускового реле *K*. Управление реле осуществляется с помощью кнопок управления: *SB*1 при пуске двигателя *SB*2 и при его остановке. Реверсирование двигателя осуществляется путем изменения полярности задающего сигнала $U_з$.

В электроприводе типа ЭТЗР реализуется ряд защит, блокировок и сигнализаций. Токовое реле *KA*, катушка которого включена в цепь якоря двигателя, а контакт — в цепь питания реле *K*, обеспечивает максимальную токовую защиту электропривода. При его срабатывании отключается реле *K*, с тиристоров снимаются сигналы управления и двигатель отключается от источника питания.

Автоматические выключатели *QF*1 и *QF*2 осуществляют максимальную токовую защиту силовой части тиристорного преобразователя, обмотки возбуждения двигателя и схемы управления.

Схема электропривода с микропроцессорным управлением. Рассмотрим схему электропривода с двигателем постоянного тока для регулирования положения исполнительного органа робототехнического устройства с микропроцессорным управлением (рис. 6.2, *а*). Электропривод должен обеспечивать перемещение и точное позиционирование исполнительного органа робота, для чего в нем используется обратная связь по положению. Для обеспечения высокой точности позиционирования в ЭП осуществляется также регулирование тока (момента) и скорости.

Рисунок (6.2, *а*) иллюстрирует характерный пример выполнения схем, когда в них применяются как аналоговые, так и цифровые узлы и устройства управления. Такие схемы, получившие название цифроаналоговых, сочетают в себе лучшие свойства тех и других устройств.

Силовая часть электропривода образована трехфазным мостовым реверсивным тиристорным преобразователем ТП, питаемым от трансформатора ТР.

Схема управления построена по принципу подчиненного регулирования координат. Регулирование тока производится аналоговым

пропорционально-интегральным регулятором тока РТ, на вход которого поступают сигналы обратной связи по току от датчика тока ДТ и задания тока $U_{з.т}$, с выхода регулятора скорости.

Аналоговый П-регулятор скорости РС формирует сигнал задания тока $U_{з.т.}$ на основе своего задающего сигнала $U_{з.с.}$, поступающего на него с внешнего по отношению к нему контура положения, и сигнала обратной связи по скорости, вырабатываемой тахогенератором ТГ. Стабилитроны *VD*1 и *VD*2 ограничивают сигнал на выходе РС, чем обеспечивается ограничение тока и момента двигателя.

Регулирование положения осуществляется с помощью микропроцессорной системы, включающей в себя микропроцессор МП, устройства памяти ОЗУ и ПЗУ, устройства сопряжения УС1–УС3, цифровой датчик положения ДП, цифроаналоговый преобразователь ЦАП. Сигнал задания положения $S_{з.п.}$ поступает (задается) с терминала Т, подключаемого к микропроцессорной системе через УС3. Тем самым микропроцессорная система выполняет роль регулятора положения РП.

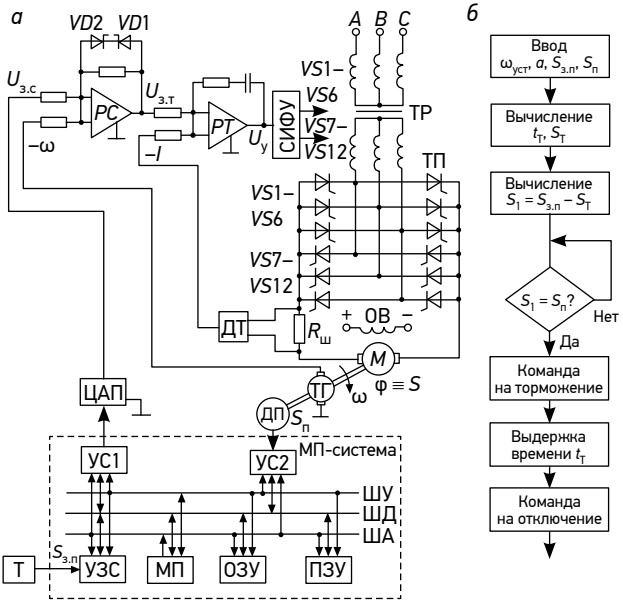


Рис. 6.2. Электропривод с микропроцессорным управлением:
а — схема, *б* — фрагмент программы

Работа цифрового регулятора положения в микропроцессорной системе может основываться на одном из двух принципов. Первый из них предусматривает реализацию статической характеристики РП в виде параболы, которая обеспечивает оптимальный график движения электропривода. Такой регулятор можно реализовать программным путем, записав в ПЗУ эту нелинейную характеристику РП.

Второй принцип работы РП основан на вычислении момента начала торможения электропривода, что также позволяет получить требуемую точность регулирования положения. Рассмотрим данный способ подробнее.

Реализация способа основана на том, что при известных скорости $\omega_{уст}$ и ускорении

$$a = \frac{M - M_c}{J}$$

могут быть рассчитаны время $t_Т$ и путь $S_Т$, на участке торможения электропривода в конце отработки заданного перемещения $S_{з.п}$ по следующим формулам:

$$t_Т = \frac{\omega_{уст}}{a};$$

$$S_Т = \frac{\omega_{уст}^2}{2a}.$$

Алгоритм работы микропроцессорной системы при выработке сигнала на торможение приведен на рис. 6.2, *б*. Для его реализации в микропроцессорную систему вводятся данные по величинам $\omega_{уст}$, α, $S_{з.п}$ и сигнал $S_п$ датчика положения ДП, пропорциональный текущему положению вала двигателя и исполнительного органа. Микропроцессорная система производит вычисление $t_Т$ и $S_Т$ и разности $S_1 = S_{з.п} - S_з$. Затем сопоставляются величины разности S_1 с сигналом датчика положения $S_п$. Как только S_1 станет равной $S_п$, от микропроцессорной системы выдается команда на торможение электропривода, начинается отсчет выдержки времени $t_Т$, по истечении этого интервала выработается команда на отключение электропривода.

Контрольные вопросы

1. В чем принцип импульсного изменения параметров схемы управления?
2. Дайте схемное решение реализации способа импульсного изменения параметров.
3. Приведите математические зависимости и временные диаграммы импульсного способа регулировки скорости.
4. Объясните характер использования логических функций для управления скоростью электропривода.
5. Принцип регулирования скорости привода импульсным изменением параметров.

Литература

1. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. — М. : Академия, 2004.
2. Зимин Е. Н., Яковлев В. И. Автоматическое управление электроприводами. — М. : Высш. шк., 1999.

7. Электрический привод по системе «генератор — двигатель»

В зависимости от вида регулируемой координаты ЭП используются связи по скорости, положению, току, напряжению, магнитному потоку, ЭДС.

Во многих случаях требуется обеспечивать регулирование скольких координат ЭП, например тока (момента) и скорости двигателя. При этом для регулирования требуется источник питающего напряжения большой мощности, который бы позволял изменять скорость привода в широком диапазоне. Для решения такой задачи нашел применение привод постоянного тока, работающий по системе «*генератор — двигатель* (Г–Д)».

В этом случае система управления ЭП выполняется по одной из следующих структурных схем.

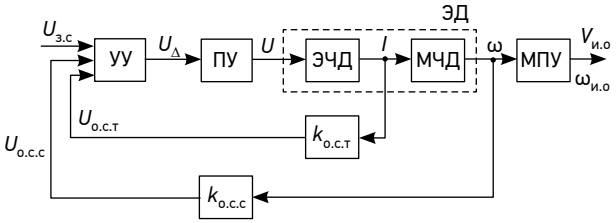


Рис. 7.1. Схема с общим усилителем

Схема с общим усилителем (рис. 7. 1). Для удобства описания работы схемы двигатель ЭД условно представлен двумя частями: электрической ЭЧД и механической МЧД. Схема предназначена для регулирования двух координат: тока I и скорости двигателя ω, а тем самым и скорости движения исполнительного органа $\omega_{и.о}$ или $V_{и.о}$. В этой схеме сигналы обратных связей по току $U_{о.м.т}$

и скорости $U_{о.с.с}$ подаются на вход управляющего устройства УУ, где вместе с задающим сигналом скорости $U_{з.с}$ алгебраически суммируются. Сигнал ошибки U_{Δ} далее подается на вход преобразователя ПУ, который своим выходным напряжением U управляет двигателем ЭД. Схема отличается простотой реализации, но не позволяет регулировать координаты ЭП независимо друг от друга.

В этой схеме за счет использования нелинейных обратных связей, называемых в теории ЭП отсечками, удается в некотором диапазоне изменения координат осуществлять их независимое регулирование, что частично устраняет указанный недостаток.

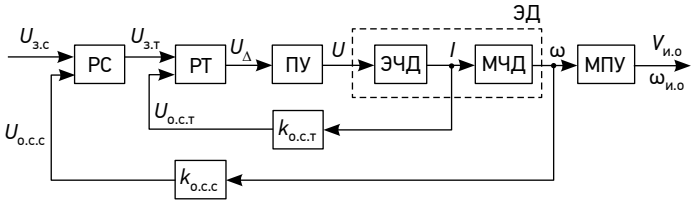


Рис. 7.2. Схема с подчиненным регулированием координат

Схема с подчиненным регулированием координат (рис.7.2). Схема отличается от предыдущей тем, что в ней регулирование каждой координаты осуществляется своими регуляторами тока РТ скорости РС, которые вместе с соответствующими обратными связями образуют замкнутые контуры. Они располагаются таким образом, что входным, задающим сигналом для внутреннего контура тока $U_{з.т.}$ является выходной сигнал внешнего по отношению к нему контура скорости. Таким образом, внутренний контур тока подчинен внешнему контуру скорости — основной регулируемой координаты ЭП.

Достоинство такой схемы заключается в возможности оптимальной настройки регулирования каждой координаты, в силу чего она находит в настоящее время основное применение в ЭП. Кроме того, подчинение контура тока контуру скорости позволяет простыми средствами осуществлять ограничение тока и момента, для чего необходимо лишь ограничить на соответствующем уровне сигнал на выходе регулятора скорости.

При необходимости регулировать положение вала двигателя в схемы рис. 7.1 и 7.2 вводится соответствующая обратная связь по положению вала двигателя или исполнительного органа.

Контрольные вопросы

1. Дайте характеристику режимам работы системы «Г-Д».
2. Объясните пусковой режим в системе «Г-Д».
3. Назовите способы регулирования скорости в системе «Г-Д».
4. Дайте схемное решение и приведите механические характеристики регулировки скорости в системе «Г-Д».

Литература

1. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. — М. : Академия, 2004.
2. Москаленко В. В. Электрический привод : учебник. — М. : Академия, 2007.
3. Зимин Е. Н., Яковлев В. И. Автоматическое управление электроприводами. — М. : Высш. шк., 1999.

8. Регулирование скорости приводов на двигателях переменного тока

Типовые схемы управления асинхронным двигателем с фазным ротором. Схемы управления двигателя с фазным ротором, которые рассчитаны в основном на среднюю и большую мощность, должны предусматривать ограничение токов при их пуске, реверсе и торможении с помощью добавочных резисторов в цепи ротора. За счет включения резисторов в цепь ротора можно также увеличить момент при пуске, вплоть до уровня критического (максимального).

Обычно системы автоматического управления приводов на асинхронных двигателях решают задачу автоматического пуска, регулирования скорости и автоматического торможения, представляя собой единое схемное решение. Рассмотрим некоторые типовые схемы управления асинхронными двигателями.

Схема одноступенчатого пуска асинхронного двигателя в функции тока и динамического торможения в функции скорости. Схема (рис. 8.1) включает в себя контакторы *KM*1, *KM*2 и *KM*3; реле тока *KA*; реле контроля скорости *SR*, промежуточное реле *KV*; понижающий трансформатор для динамического торможения *T*; выпрямитель *VD*. Максимальная токовая защита осуществляется предохранителями *FA*1 и *FA*2, защита от перегрузки двигателя — тепловыми реле *KK*1 и *KK*2.

Схема работает следующим образом. После подачи с помощью автоматического выключателя *QF* напряжения для пуска двигателя нажимается кнопка *SB*1, включается контактор *KM*1, силовыми контактами которого статор двигателя подключается к сети. Бросок тока в цепи ротора вызовет включение реле тока *KA* и размыкание цепи контактора ускорения *KM*2. Тем самым разбег двигателя начнется с пусковым резистором $R_{Д2}$ в цепи ротора.

Включение контактора *KM*1 приводит также к шунтированию кнопки *SB*1, размыканию цепи катушки контактора торможения

*KM*3 к включению промежуточного реле напряжения *KV*, что, тем не менее, не приведет к включению контактора *KM*2, так как до этого в данной цепи разомкнулся контакт реле *KA*.

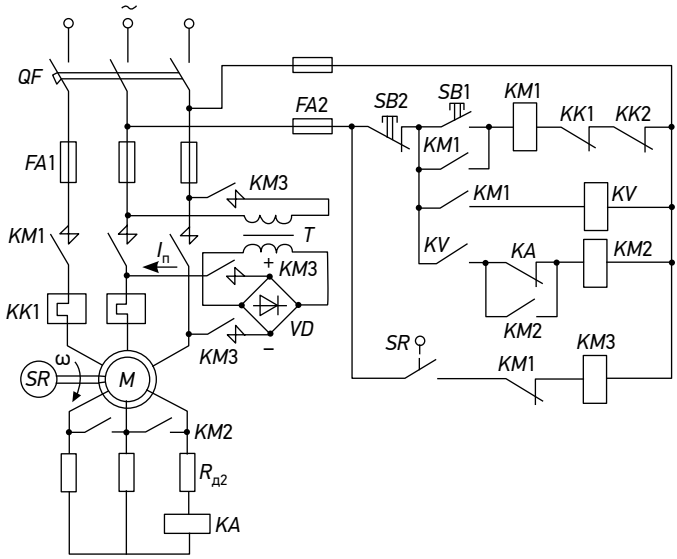


Рис. 8.1. Схема управления пуском
и динамическим торможением
асинхронного двигателя с фазным ротором

По мере увеличения скорости двигателя уменьшаются ЭДС и ток в роторе. При некотором значении тока в роторе, равном току отпускания реле *KA*, оно отключится и своим размыкающим контактом замкнет цепь питания контактора *KM*2. Ток включится, зашунтирует пусковой резистор R&, и двигатель выйдет на свою естественную характеристику.

Отметим, что вращение двигателя вызовет замыкание контакта реле скорости *SR* в цепи контактора *KM*3, однако он не сработает, так как до этого разомкнулся контакт контактора *KM*1.

Для перевода двигателя в тормозной режим нажимается кнопка *SB*2. Контактор *KM*1 теряет питание и отключает *АД* от сети переменного тока. Благодаря замыканию контактов *KM*1 включится контактор торможения *KM*3, контакты которого замкнут цепь питания обмотки статора от выпрямителя *VD*, подключенного к трансформатору *T*, и тем самым двигатель переводится в режим

динамического торможения. Одновременно с этим потеряют питание аппараты *KV* и *KM*2, что приведет к вводу в цепь ротора резистора *RД*2. Двигатель начинает тормозиться.

При скорости двигателя, близкой к нулю, реле контроля скорости *SR* разомкнет свой контакт в цепи катушки контактора *KM*3. Он отключится и прекратит торможение двигателя. Схема придет в исходное положение и будет готова к последующей работе.

Принцип действия схемы не изменится, если катушку реле тока *KA* включить в фазу статора, а не ротора.

Панель типа ПДУ6220. Эта панель входит в состав нормализованной серии панелей управления двигателей с фазным и короткозамкнутым ротором и обеспечивает пуск двигателей в две ступени и динамическое торможение по принципу времени (рис. 8.2).

При подаче на схему напряжений постоянного 220 В и переменного 380 В тока (замыкание рубильников *Ql*, *Q*2 и автомата *QF*) включается реле времени *KT*1, чем подготавливается двигатель к пуску с полным пусковым резистором в цепи ротора. Одновременно с этим, если рукоятка командоконтроллера находится в нулевой (средней) позиции и максимально-токовые реле *FA*1—*FA*3 не включены, включится реле защиты *KV* от понижения питающего напряжения и подготовит схему к работе.

Пуск двигателя осуществляется по любой из двух искусственных характеристик или естественной характеристике, для чего рукоятка *SA* должна устанавливаться соответственно в положение 1, 2 или 3. При переводе рукоятки в любое из указанных положений *SA* включаются линейный контактор *KM*2, подключающий двигатель к сети, контактор управления тормозом *KM*5, подключающий к сети катушку *YA* электромагнитного тормоза, который при этом растормаживает двигатель, и реле времени *KT*3, управляющее процессом динамического торможения. При переводе *SA* в положение 2 или 3 включаются контакторы ускорения *KM*3 и *KM*4 и двигатель начинает разгоняться.

Торможение двигателя происходит при переводе рукоятки *SA* в нулевое (среднее) положение. При этом отключатся контакторы *KM*2 и *KM*5 и включится контактор динамического торможения *KM*1, который подключит двигатель к источнику постоянного тока. В результате этого будет идти интенсивный процесс комбинированного (механического и динамического) торможения двигателя, которое закончится после отсчета реле *KT3* своей выдержки времени, соответствующей времени торможения.

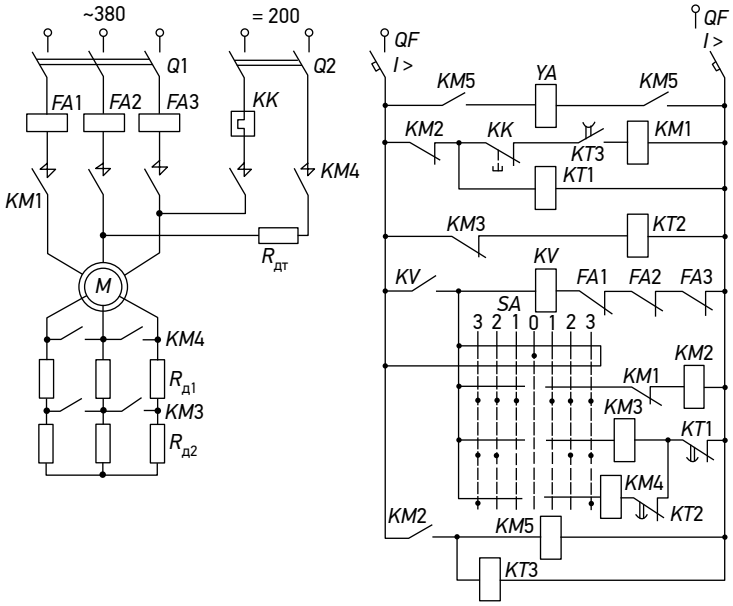


Рис. 8.2. Схема асинхронного электропривода
с использованием типовой панели управления

Контрольные вопросы

1. Как осуществляется регулирование скорости изменением активного и индуктивного сопротивлений?
2. Дайте схему автотрансформаторного способа регулировки скорости.
3. В чем принцип тиристорного способа регулирования скорости?
4. В чем состоит способ регулирования скорости изменением частоты питающего напряжения?

Литература

1. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. — М. : Академия, 2004.
2. Москаленко В. В. Электрический привод : учебник. — М. : Академия, 2007.
3. Зимин Е. Н., Яковлев В. И. Автоматическое управление электроприводами. — М. : Высш. шк., 1999.

9. Регулирование скорости асинхронных двигателей в каскадных схемах

Схемы управления двигателя с использованием тиристорных пусковых устройств. Эффективным методом формирования желаемых графиков изменения тока и момента двигателя в переходных режимах является регулирование напряжения на его статоре с помощью тиристорных пусковых устройств (ТПУ). Чаще всего это делается для ограничения тока и момента двигателя при пуске («мягкий» способ пуска), хотя с помощью этих устройств можно обеспечить и повышение момента двигателя при пуске («жесткий» способ пуска).

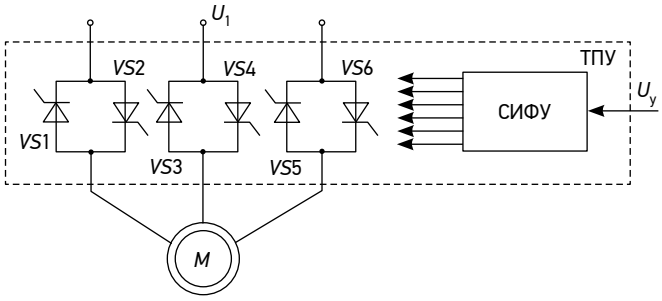


Рис. 9.1. Схема асинхронного электропривода с тиристорным пусковым устройством

Упрощенная схема электропривода, иллюстрирующая этот метод, приведена на рис. 9.1. Тиристорное пусковое устройство включается между источником питания (сетью переменного тока) с напряжением U_1, и статором двигателя. В нереверсивном ТПУ его силовую часть образуют три пары встречно-параллельно включенных тиристоров $VS1-VS6$, управление которыми осуществляется

импульсами напряжения, поступающими на них от системы импульсно-фазового управления СИФУ. Ограничение тока и момента осуществляется за счет снижения подводимого к двигателю напряжения, что достигается соответствующим изменением во времени угла управления тиристорами. Напряжение при пуске может изменяться по различным законам — линейно нарастать от нуля до сетевого, быть пониженным в течение всего времени пуска или изменяться по так называемому бустерному варианту, при котором для облегчения пуска двигателя на него вначале подается скачком некоторое напряжение, которое затем продолжает нарастать уже по линейному закону. В замкнутой системе может быть обеспечено и поддержание тока статора на заданном уровне.

Добавление в схему рис. 9.2 еще двух пар тиристоров позволяет получить реверсивную схему управления двигателем, обеспечивающую возможность вращения двигателя в двух направлениях. На базе схемы ТПУ может быть обеспечено и динамическое торможение двигателя.

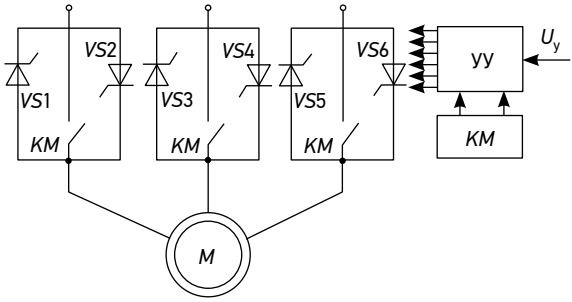


Рис. 9.2. Схема асинхронного электропривода
с гибридным тиристорным пусковым устройством

Дополнительными положительными свойствами обладают *гибридные* ТПУ, которые получаются добавлением в схему рис. 9.1 электромагнитного контактора, как это показано на рис. 9.2. В такой схеме тиристорная часть обеспечивает регулирование напряжения при пуске, а после его завершения включается контактор *КМ* и подключает двигатель к сети напрямую. Это повышает экономичность и надежность работы электропривода. В схеме тиристоры не имеют охладителей, а контактор — дугогасительных камер, что обусловливает их небольшие массу и габаритные размеры.

Схема квазичастотного регулирования скорости двигателя. На базе схемы рис. 9.1 может быть реализовано так называемое квазичастотное регулирование скорости двигателя. Схема, иллюстрирующая такое регулирование, показана на рис. 9.3. В ее состав входит блок квазичастотного управления БКЧУ, который с помощью схемы управления СИФУ обеспечивает периодическое подключение двигателя к источнику питания и его отключение. За счет изменения частоты и длительности интервалов включения и отключения двигателя могут быть получены механические характеристики, позволяющие регулировать скорость двигателя или его момент при пуске. Особенностью квазичастотного управления являются вибрации и шум при работе двигателя, а также повышенные потери мощности, что вызывает дополнительный нагрев двигателя и требует определенного завышения его мощности в случае регулирования скорости.

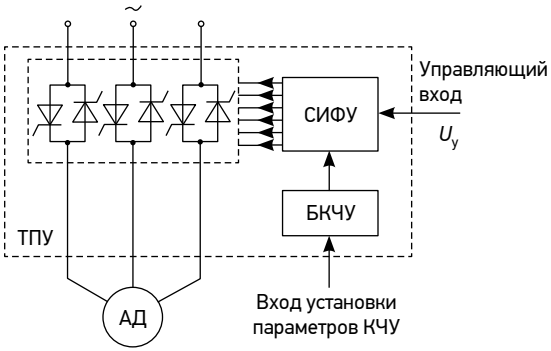


Рис. 9.3. Схема асинхронного электропривода
с квазичастотным управлением

Типовые узлы и схемы управления электроприводов с синхронными двигателями. Релейно-контакторные схемы управления синхронными двигателями, кроме обычных операций по включению и отключению (торможению) двигателя и ограничению пусковых токов, должны обеспечивать управление током возбуждения двигателей, имеющих обмотку возбуждения. При пуске применяются два способа такого управления: с «глухоподключенной» (постоянно включенной) обмоткой возбуждения и с подключением обмотки в конце пуска перед синхронизацией двигателя с сетью. Первый вариант характеризуется более простой схемой и исполь-

зуется при легких условиях пуска двигателя — небольших моментах и инерционных массах нагрузки электропривода. Второй вариант реализуется с помощью более сложной схемы управления, но зато может обеспечивать пуск двигателя при значительных моментах сопротивления и инерционности нагрузки электропривода.

Типовой узел управления током возбуждением двигателя в функции скорости. В этой схеме подключение обмотки возбуждения к источнику питания $U_В$ осуществляется контактором *KM*2 (рис. 9.4, *а*), который управляется реле скорости *KR*. Катушка реле связана с частью разрядного резистора $R_р$ через диод *VD*.

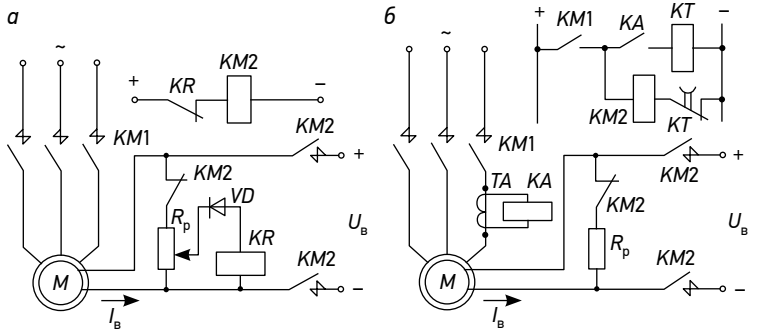


Рис. 9.4. Узлы схем управлением возбуждением синхронного двигателя:
а — с использованием принципа скорости, *б* — тока

При включении контактора *KM*1 (его цепи управления на рисунке не показаны) обмотка статора двигателя подключается к сети переменного тока и образует вращающееся магнитное поле, которое вызовет появление момента двигателя, под действием его он начнет разбег и наведет ЭДС в обмотке возбуждения двигателя. Под действием ЭДС по катушке реле *KR* начнет протекать выпрямленный ток, оно включится и разомкнет цепь питания контактора *KM*2. Тем самым разбег двигателя будет происходить без тока возбуждения с закороченной на разрядный резистор $R_р$ обмоткой возбуждения.

При подсинхронной скорости ток в катушке реле *KR* станет меньше тока отпускания, оно отключится и вызовет тем самым включение контактора *KM*2. Контактор *KM*2 подключит обмотку возбуждения к источнику питания, далее происходит процесс синхронизации двигателя с сетью.

Схема управления возбуждением двигателя в функции тока. Эта схема (рис. 9.4, *б*) содержит реле тока *KA*, обмотка которого питается от трансформатора тока *TA*, и реле времени *KT*. При подключении двигателя к сети контактором *KM*1 в цепи обмотки статора возникает бросок пускового тока, что приводит к срабатыванию реле *KA*. Контакт этого реле замыкает цепь питания реле времени *KT*, что вызовет отключение контактора возбуждения *KM*2. Разбег двигателя, как и в предыдущем случае, осуществляется с закороченной на разрядный резистор $R_р$ обмоткой возбуждения.

В конце пуска при подсинхронной скорости двигателя и уменьшении тока в статоре реле *KA* отключается и катушка реле времени *KT* теряет питание. Через заданную выдержку времени включается контактор *KM*2, через его контакты обмотка возбуждения подключается к источнику питания $U_В$, после чего двигатель втягивается в синхронизм.

Отметим, что в рассмотренных схемах после срабатывания контактора возбуждения *KM*2 разрывается цепь разрядного резистора $U_р$, что облегчает тепловой режим его работы и повышает экономичность схемы.

Электротехническая промышленность выпускает типовые панели и шкафы управления двигателя разных типов. Рассмотрим в качестве примера схему одной из таких панелей.

Схема панели типа ПУ 7502 управления двигателем низкого напряжения. Панель (рис. 9.5) обеспечивает прямой (без токоограничения) пуск с глухоподключенным источником питания обмотки возбуждения (возбудителем) *G* и форсировку возбуждения при снижении уровня питающего напряжения. В схеме предусмотрены также защиты: тепловая (реле *KK* и трансформаторы тока *TA*1 и *TA*2), токовая (автоматы *QF*1 и *QF*2), от снижения напряжения сети переменного тока (реле *KV*2, *KVJ*) и постоянного тока (реле *KV*1).

Пуск двигателя может быть осуществлен только при нормальных уровнях питающих схему напряжений постоянного и переменного тока. В этом случае, если рукоятка командоконтроллера *SA* находится в среднем положении и включены автоматы *QF*1 и *QF*2, срабатывают реле напряжения *KV*2, *KV*3 и реле времени *KT*, что подготавливает схему к пуску двигателя.

При переводе рукоятки *SA* в положение «Включено» срабатывает реле *KV*1 и катушка линейного контактора *KM*1 подключается к источнику питания, к обмотке статора двигателя подводится напряжение переменного тока, и тот начинает разбег. При под-

синхронной скорости происходит возбуждение возбудителя *G*, имеющего независимую (НОВ) и последовательную (ПОВ) обмотки возбуждения, и соответственно двигателя, который втягивается в синхронизм.

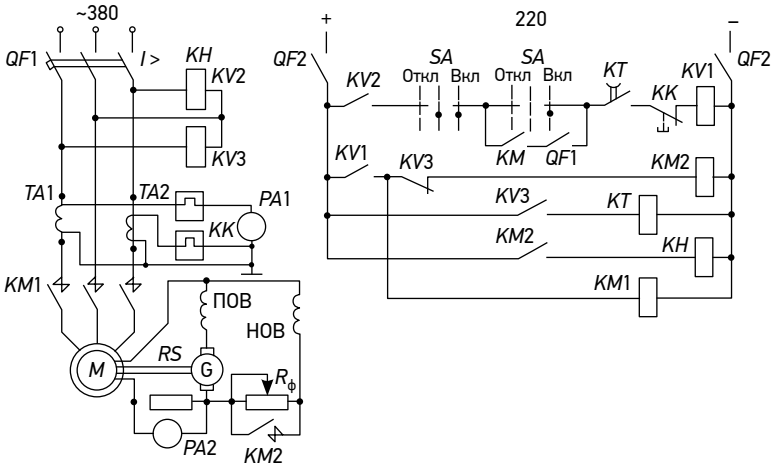


Рис. 9.5. Схема синхронного электропривода с использованием типовой панели управления

Схема управления обеспечивает увеличение (форсирование) тока возбуждения двигателя при резком снижении питающего напряжения, что позволяет сохранять максимальный момент двигателя и тем самым его перегрузочную способность. При нормальном уровне питающего напряжения реле напряжения *KV*3 включено, цепь катушки контактора *KM*2 разомкнута и резистор форсировки $R_ф$ введен в цепь тока возбуждения двигателя.

При резком снижении напряжения реле *KV*3 отключается, замыкает цепь катушки контактора форсировки *KM*2, который включается и своим контактом шунтирует резистор $R_ф$, вызывая тем самым увеличение тока возбуждения двигателя. О включении *KM*2 сигнализирует указательное реле *KH*.

Для контроля тока статора двигателя в схеме предусмотрен амперметр *PA*1, а тока возбуждения двигателя — амперметр *PA*2, питаемый от шунта *RS*.

Контрольные вопросы

1. Назначение каскадных схем.
2. Дайте схемные решения и объясните принцип функционирования каскадных схем.
3. Приведите механические характеристики регулировки скорости в каскадных схемах.

Литература

1. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. — М. : Академия, 2004.
2. Москаленко В. В. Электрический привод : учебник. — М. : Академия, 2007.
3. Зимин Е. Н., Яковлев В. И. Автоматическое управление электроприводами. — М. : Высш. шк., 1999.

10. Электропривод на шаговом двигателе. Конструкция шагового двигателя и принцип работы. Управление шаговым приводом

Исполнительные органы некоторых рабочих машин и механизмов должны совершать строго дозированные перемещения с фиксацией своего положения в конце движения. В электроприводах таких машин и механизмов успешно применяются шаговые двигатели (ШД) различных типов, образующие основу дискретного электропривода. Дискретный электропривод используется для металлообрабатывающих станков с числовым программным управлением (ЧПУ), роботов и манипуляторов, в гибком автоматизированном производстве, электронной и часовой промышленности, газорезательных и сварочных автоматах, приборах времени, нажимных устройствах прокатных станов, лентопротяжных и регистрирующих устройствах, в медицинской технике, в производстве элементов микроэлектроники и т.д.

Распространение дискретного электропривода определяется еще и тем, что он естественным образом сочетается с микропроцессорными средствами управления, которые все шире применяются во всех отраслях техники.

Электропривод с ШД в настоящее время используется на мощности от долей ватта до нескольких киловатт, что определяется мощностью серийно выпускаемых ШД. Расширение шкалы мощности дискретного ЭП может быть достигнуто использованием в нем серийных АД, которые за счет соответствующего управления могут работать в шаговом режиме.

Шаговый двигатель по принципу своего действия является синхронным двигателем. Однако в отличие от последнего магнитное поле ШД перемещается (вращается) не непрерывно, а дискретно,

шагами. Это достигается за счет импульсного возбуждения обмоток ШД с помощью электронного коммутатора, который преобразует одноканальую последовательность управляющих импульсов в многофазную систему напряжений, прикладываемых к обмоткам (фазам) ШД.

Дискретному характеру напряжения на фазах ШД соответствует дискретное вращение (перемещение) электромагнитного поля в воздушном зазоре, вследствие чего движение ротора состоит из последовательных элементарных поворотов, или шагов.

Угловое перемещение α ШД в общем случае определяется выражением $\alpha = 2\pi(pn)$, где p — число пар полюсов ротора; n — число переключений (тактов) в цикле, равное числу фаз ШД при симметричной и удвоенному числу фаз при несимметричной коммутации.

Как видно, шаговое перемещение ротора соответствует последовательности управляющих импульсов, при этом каждому импульсу соответствует одно переключение обмотки ШД (один такт коммутации) и один шаг ротора. Суммарный угол поворота ШД пропорционален числу импульсов, а его скорость — частоте коммутации обмоток f_k: $\omega = \alpha f_k$.

Для реверса ШД при симметричной схеме коммутации необходимо изменить полярность напряжения обмотки, которая была отключена на данном такте коммутации. Тогда ротор ШД совершит шаг в противоположном направлении.

Основным режимом работы шагового привода является динамический. В отличие от обычного синхронного двигателя, ШД рассчитаны на вхождение в синхронизм из состояния покоя и принудительное электрическое торможение. Благодаря этому в шаговом электроприводе обеспечивается пуск, торможение, реверс и переход с одной частоты управляющих импульсов на другую. Пуск ШД осуществляется скачкообразным или постепенным увеличением частоты входного сигнала от нуля до рабочей, торможение — снижением ее до нуля, а реверс — изменением последовательности коммутации обмоток ШД.

Обеспечение заданного характера переходных процессов является для электропривода с ШД основной и наиболее сложной задачей, так как вследствие электромагнитной инерции обмоток ТТТД, механической инерции его ротора и момента нагрузки на валу при резких изменениях частоты следования импульсов управления ротор ШД может не успеть отработать полностью все импульсы. Максимальная частота управляющих импульсов, при которой возможен пуск ШД из неподвижного состояния без выпадения из син-

хронизма (пропуска шагов), называется частотой приемистости. Чем выше электромагнитная и механическая инерция ШД и больше момент его нагрузки, тем меньше частота приемистости.

Современные ШД различны по конструктивному исполнению. В зависимости от числа фаз и устройства магнитной системы ШД бывают одно-, двух- и многофазными с активным или пассивным ротором.

Развитие дискретного электропривода привело к созданию специальных видов ШД — линейных, волновых, с малоинерционным и катящимся роторами.

На базе цилиндрических линейных ШД созданы двухкоординатные линейно-поворотные ТТТД, суммирующие на своем валу два независимых движения — вращательное и поступательное.

Важным достижением в области дискретного электропривода является создание так называемых многокоординатных ШД, осуществляющих перемещение исполнительных органов по трем координатам в пространстве. Двигатели такого рода, отличаясь высокой точностью позиционирования и скоростью, используются в приводах манипуляторов, роботов и автоматических линиях станков.

Обобщенная функциональная схема регулируемого электропривода с ШД показана на рис. 10.1. Основная ее часть, обычно называемая разомкнутой схемой, выделена штриховой линией.

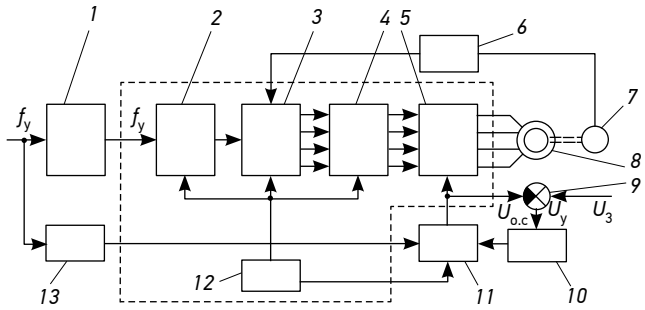


Рис. 10.1. Схема электропривода с шаговым двигателем

Сигнал управления f_y в виде импульсов напряжения поступает на вход блока *2* от программного или другого внешнего командного устройства. Блок *2* видоизменяет эти импульсы, формируя их по длительности и амплитуде, как необходимо для нормальной работы последующих блоков схемы управления. Распределитель импульсов *3* преобразует последовательность сформированных

импульсов, например, в четырехфазную систему однополярных импульсов напряжения, соответствующую числу фаз (обмоток) двигателя.

Импульсы с выхода распределителя *3* усиливаются с помощью промежуточного усилителя *4* и поступают на коммутатор *5*, питающий обмотки ШД *8*. Обычно коммутатор питается от источника *12* постоянного тока (выпрямителя) и обеспечивает в обмотках ШД пульсирующий ток одного направления.

Рассмотренная разомкнутая схема управления ШД не всегда обеспечивает высокие динамические свойства, точность и энергетические показатели электропривода. Поэтому современные схемы управления ШД содержат дополнительные узлы, с помощью которых характеристики электропривода улучшаются. К таким узлам (рис. 4.14) относятся частотно-импульсный регулятор напряжения *11*, усилитель обратной связи по току *10*, блок электронного дробления шага *13*, блок плавного разгона и торможения (задатчик интенсивности) *1*, датчик положения ротора и скорости 7 и цифровой регулятор *6*.

Регулятор *11* и усилитель *10*, связанные с узлом сравнения *9*, служат для автоматической стабилизации тока в обмотках ШД и поддержания момента ШД, что существенно улучшает энергетические показатели его работы. Стабилизация тока осуществляется введением отрицательной обратной связи по току, с помощью которой за счет регулирования частоты переключения регулятора *11* (частотно-импульсная модуляция) изменяется среднее значение напряжения питания и тем самым регулируется ток в обмотках ШД.

Та же задача формирования тока в обмотках ШД решается при использовании коммутатора *5*, обладающего свойствами источника тока. В этом случае отпадает надобность в обратной связи по току и блоках *10* и *11*.

Для улучшения качества движения ШД при низких частотах и повышения точности отработки входных импульсов управления с помощью блока *13* уменьшается единичный шаг ШД.

Улучшение динамических свойств дискретного ШД, в частности увеличение диапазона рабочих частот входного сигнала, значительно превышающих частоту приемистости ШД, может быть достигнуто введением в схему блока *1*, обеспечивающего разгон и торможение ШД с заданным темпом, при котором еще не происходит пропуска управляющих импульсов. При использовании блока *1* область рабочих частот шагового электропривода может быть увеличена в 2–3 раза.

Возможности дискретного электропривода расширяются при создании замкнутых схем управления, выполняемых с помощью датчика *7* и регулятора *6.* В таком дискретном приводе информация о действительном положении вала и скорости ШД поступает на вход цифрового регулятора *6*, который обеспечивает заданный характер движения привода.

Перспективы дальнейшего развития электропривода с ШД связаны с использованием микропроцессорных средств управления. В этом случае функции всех показанных на рис. 10.1 блоков управления, за исключением силового коммутатора, датчиков скорости и положения, выполняет микропроцессор по соответствующей программе.

Контрольные вопросы

1. Конструктивные особенности шагового двигателя.
2. Принцип работы шагового двигателя.
3. Дайте функциональную схему системы управления приводом на шаговом двигателе.
4. Фазоимпульсные и шагоимпульсные системы управления.
5. Особенности структурных решений системы управления шаговым приводом.

Литература

1. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. — М. : Академия, 2004.
2. Москаленко В. В. Электрический привод : учебник. — М. : Академия, 2007.

11. Управление приводом в разомкнутых системах. Автоматическое управление пуском и торможением

К разомкнутым относятся схемы управления электропривода, в которых не используются обратные связи по его координатам или технологическим параметрам. Тем самым управление в таких схемах осуществляется без контроля за фактическим изменением регулируемых координат, т.е. без учета результатов управления. Эти схемы, отличаясь простотой реализации, используются в тех случаях, когда не требуется высокое качество управления движением электроприводов, в частности для пуска, реверса и торможения двигателей и при невысоких требованиях к точности и диапазону регулирования переменных (координат) двигателей.

В таких схемах управления в основном используются релейно-контакторная аппаратура и полупроводниковые коммутационные аппараты (бесконтактные пускатели).

Автоматизация работы этих схем осуществляется за счет использования информации о времени, токе, скорости или ЭДС двигателей и положении их вала, которая получается от соответствующих датчиков или самого двигателя. Тот или иной вид используемой при автоматизации работы схемы информации определяет *принципы управления,* к которым относятся принципы времени, тока, скорости, ЭДС и положения (пути). Часто в разомкнутых схемах используется сочетание принципов управления: например, пуск двигателя осуществляется по принципу времени, а его торможение — по принципу ЭДС или скорости.

Разомкнутые схемы применяются и для регулирования скорости при невысоких требованиях к качеству регулирования. Силовая часть таких электроприводов строится по структуре «управляемый

преобразователь — двигатель», а задача регулирования (ограничения) тока и момента двигателей в переходных процессах решается за счет включения в схему управления дополнительного устройства, называемого задатчиком интенсивности. Это устройство, обеспечивая плавное изменение в переходных процессах управляющего воздействия на двигатель (напряжения, его частоты или того и другого) по линейному или экспоненциальному законам, обеспечивает формирование требуемых графиков координат (переменных) электропривода.

Разомкнутые схемы, кроме функций управления, обеспечивают защиту электроприводов, питающей сети и технологического оборудования при возникновении различных аномальных режимов — коротких замыканиях, перегрузке двигателей, исчезновении питающего напряжения или обрыве фазы питающей сети, а также соответствующую сигнализацию. Для этого они содержат аппараты и устройства, находящиеся во взаимодействии с устройствами управления двигателями. Такие схемы управления, защиты и сигнализации серийно выпускаются электротехнической промышленностью в виде панелей, шкафов и блоков управления и других подобных комплектных устройств.

Схема управления асинхронным двигателем, обеспечивающая прямой пуск в функции времени. Пуск двигателя осуществляется нажатием кнопки *SB*1 (рис. 11.1), после чего срабатывает линейный контактор *KM*, подключающий двигатель к источнику питания. Одновременно с этим замыкание контакта *KM* в цепи реле времени *KT* вызовет его срабатывание и замыкание его контакта в цепи контактора торможения *KM*1. Однако последний не срабатывает, так как перед этим разомкнулся в этой цепи размыкающий контакт *KM*.

Для остановки двигателя нажимается кнопка *SB*3. Контактор *KM* отключается, размыкая свои контакты в цепи статора двигателя и отключая тем самым его от сети переменного тока. Одновременно с этим замыкается контакт *KM* в цепи аппарата *KM*1 и размыкается контакт *KM* в цепи реле *KT*. Это приводит к включению контактора торможения *KM*, подаче в обмотки статора постоянного тока от выпрямителя *V* через резистор $R_{\text{Т}}$ и переводу двигателя в режим динамического торможения.

Реле времени *KT*, потеряв питание, начинает отсчет выдержки времени. Через интервал времени, соответствующий времени останова двигателя, реле *KT* размыкает свой контакт в цепи кон-

тактора *KM*1, тот отключается, прекращая подачу постоянного тока в цепь статора. Схема возвращается в исходное положение.

Интенсивность динамического торможения регулируется резистором $R_т$, с помощью которого устанавливается необходимый постоянный ток в статоре двигателя.

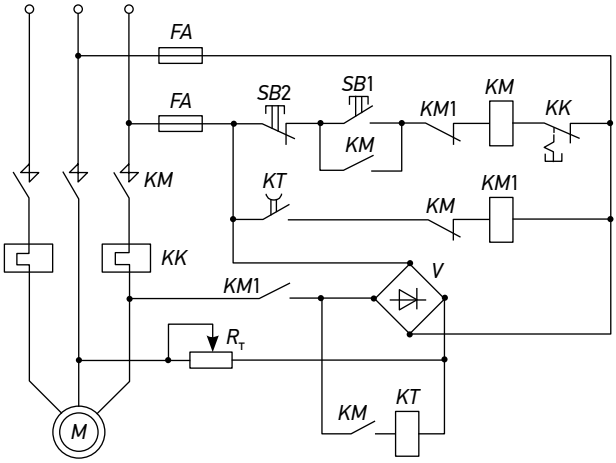


Рис. 11.1. Схема управления пуском асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Для исключения возможности одновременного подключения статора к источникам переменного и постоянного тока в схеме использована типовая блокировка с помощью размыкающих контактов *KM* и *KM*1, включенных перекрестно в цепи катушек этих аппаратов.

Схема пуска двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением по принципу тока. В схеме (рис. 11.2) используется реле тока *KA*, катушка которого включена в цепь якоря *M*, а размыкающий контакт — в цепь питания контактора ускорения *KM*2. Реле тока настраивается таким образом, чтобы его ток отпускания соответствовал току T_2. В схеме используется также дополнительное блокировочное реле $KV_с$ временем срабатывания большим, чем у реле *KA*.

Работа схемы при пуске происходит следующим образом. После нажатия на кнопку *SB*1 срабатывает контактор *KM*1, двигатель подключается к источнику питания и начинает свой разбег. Бро-

сок тока в якорной цепи после замыкания главного контакта контактора *КМ*1 вызовет срабатывание реле тока *КА,* которое разомкнет свой размыкающий контакт в цепи контактора *КМ*2. Через некоторое время после этого срабатывает *КУ* и замыкает свой замыкающий контакт в цепи контактора *КМ*2, подготавливая его к включению.

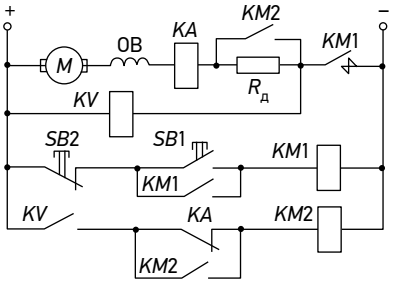


Рис. 11.2. Схема пуска двигателя по принципу тока

По мере разбега двигателя ток якоря снижается до значения тока переключения I_2. При этом токе отключается реле тока и замыкает свой размыкающий контакт в цепи катушки контактора *КМ*2. Последний срабатывает, его главный контакт закорачивает пусковой резистор $R_Д$ в цепи якоря, а вспомогательный контакт шунтирует контакт реле тока *КА*. Поэтому вторичное включение реле тока *КА* после закорачивания $R_Д$ и броска тока не вызовет отключения контактора *КМ*2; двигатель продолжит разбег по своей естественной характеристике.

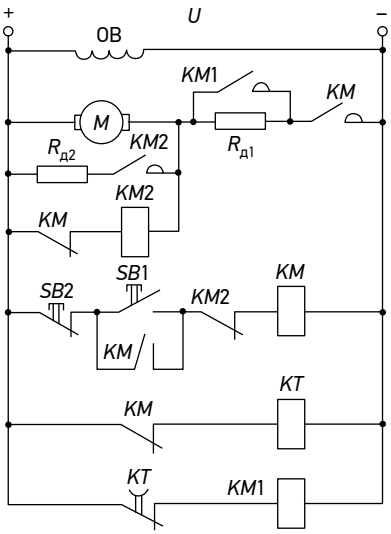


Рис. 11.3. Схема пуска двигателя по принципу времени и динамического торможения по принципу ЭДС

Схема пуска двигателя в одну ступень по принципу времени и динамического торможения по принципу ЭДС. Управление двигателем при пуске происходит по аналогии со схемой рис. 11.1. При включении двигателя в этой схеме (рис. 11.3) и работе от источника питания размыкающий контакт линейного контактора *KM* в цепи контактора торможения *KM*2 разомкнут, что предотвращает перевод двигателя в режим торможения.

Торможение осуществляется нажатием кнопки *SB*2. Контактор *KM*, потеряв питание, отключает якорь двигателя от источника питания и замыкает своим контактом цепь питания катушки контактора *KM*2. Последний от действия наведенной в якоре ЭДС срабатывает и замыкает якорь *M* на резистор торможения $R_{Д2}$. Процесс динамического торможения происходит до тех пор, пока при небольшой скорости двигателя его ЭДС не станет меньше напряжения отпускания контактора *KM*2. Тот отключится, и схема вернется в исходное положение.

Схема одноступенчатого пуска асинхронного двигателя в функции времени и торможения противовключением в функции ЭДС. После подачи напряжения включается реле времени *KT* (рис. 11.4), которое своим размыкающим контактом разрывает цепь питания контактора *KM*3, предотвращая тем самым его включение и преждевременное закорачивание пусковых резисторов в цепи ротора.

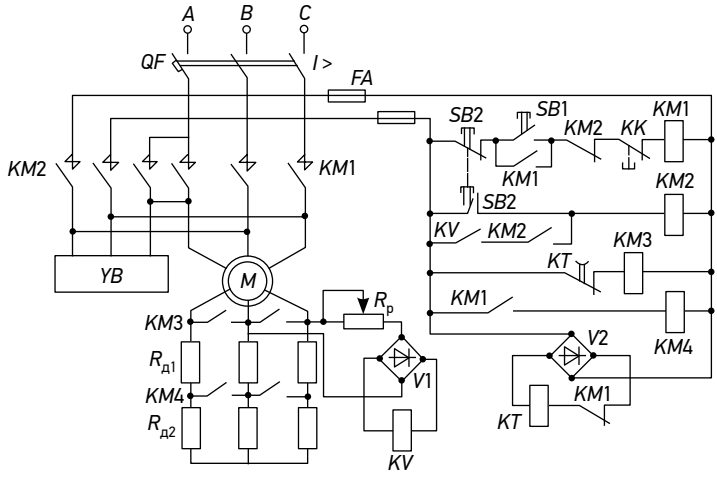


Рис. 11.4. Схема управления пуском и торможением противовключением асинхронного двигателя с фазным ротором

Включение двигателя производится нажатием кнопки *SB*1, после чего включается контактор *KM*1. Статор двигателя подсоединяется к сети, электромагнитный тормоз *YB* растормаживается, и начинается разбег двигателя. Включение *KM*1 одновременно приводит к срабатыванию контактора *KM*4, который своим контактом шунтирует ненужный при пуске резистор противовключения $R_{Д2}$, а также разрывает цепь катушки реле времени *KT*. Последнее, потеряв питание, начинает отсчет выдержки времени, после чего замыкает свой контакт в цепи катушки контактора *KM*3, который срабатывает и шунтирует пусковой резистор $R_{Д1}$ в цепи ротора, и двигатель выходит на свою естественную характеристику.

Управление торможением обеспечивает реле торможения *KV*, контролирующее уровень ЭДС (скорости) ротора. С помощью резистора $R_р$ оно отрегулировано таким образом, что при пуске, когда скольжение двигателя $0 < s < 1$, наводимая в роторе ЭДС будет недостаточна для включения, а в режиме противовключения, когда $1 < s < 2$, уровень ЭДС достаточен для его включения.

Для осуществления торможения двигателя нажимается сдвоенная кнопка *SB*2, размыкающий контакт которой разрывает цепь питания катушки контактора *KM*1. После этого двигатель отключается от сети и разрывается цепь питания контактора *KM*4 и замыкается цепь питания реле *KT*. В результате этого контакторы *KM*3 и *KM*4 отключаются и в цепь ротора двигателя вводится сопротивление $R_{Д1} + R_{Д2}$.

Нажатие кнопки *SB*2 приводит одновременно к замыканию цепи питания катушки контактора *KM*2, который, включившись, вновь подключает двигатель к сети, но уже с другим чередованием фаз сетевого напряжения на статоре. Двигатель переходит в режим торможения противовключением. Реле *KV* срабатывает и после отпускания кнопки *SB*2 будет обеспечивать питание контактора *KM*2 через свой контакт и замыкающий контакт этого аппарата.

В конце торможения, когда скорость будет близка к нулю и ЭДС ротора уменьшится, реле ЛТК отключится и своим размыкающим контактом разомкнет цепь катушки контактора *KM*2. Последний, потеряв питание, отключит двигатель от сети, и схема придет в исходное положение. После отключения *KM*2 тормоз *YB*, потеряв питание, обеспечит фиксацию (торможение) вала двигателя.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается принцип пуска двигателя в функции скорости?
2. Дайте схему автоматического пуска двигателя в функции тока.
3. Как осуществляется автоматический пуск двигателя в функции времени?
4. Контактные и бесконтактные способы автоматического управления пуском.

Литература

1. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. — М. : Академия, 2004.
2. Москаленко В. В. Электрический привод : учебник. — М. : Академия, 2007.
3. Зимин Е. Н., Яковлев В. И. Автоматическое управление электроприводами. — М. : Высш. шк., 1999.

12. Автоматическое управление приводом в замкнутых системах

Замкнутая схема «*тиристорный регулятор напряжения — асинхронный двигатель*» (ТРН-АД) с использованием обратной связи по его скорости (рис. 12.1, *а*). Силовую часть ТРИ образуют три пары встречно-параллельно соединенных тиристоров *VS*1–*VS*6.

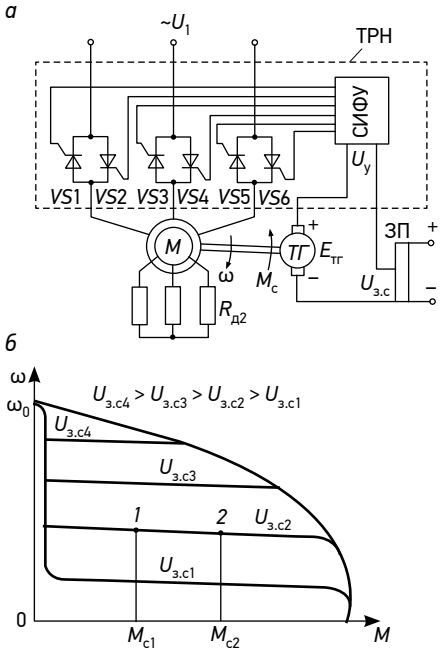


Рис. 12.1. Замкнутая система асинхронного электропривода с использованием тиристорного регулятора напряжения:
а — схема, *б* — характеристики

Управляющие электроды тиристоров подсоединены к выходам СИФУ ТРН, которая распределяет управляющие импульсы на все тиристоры и осуществляет их сдвиг в зависимости от входного сигнала управления $U_{\text{у}}$. К валу двигателя, который в этой схеме имеет фазный ротор, для реализации обратной связи по скорости подсоединен тахогенератор ТГ. Его ЭДС $E_{\text{ТГ}}$ сравнивается с задающим напряжением скорости $U_{\text{з.с}}$, снимаемым с задающего потенциометра ЗП, причем эти напряжения действуют навстречу друг другу, а их разность образует сигнал управления

$$U_{\text{у}} = U_{\text{з.с}} - E_{\text{ТГ}} = U_{\text{з.с}} - \gamma\omega,$$

который поступает на вход СИФУ. При увеличении сигнала угол управления тиристорами уменьшается, подаваемое на двигатель напряжение увеличивается, и наоборот. Важно отметить, что при снижении скорости двигателя в цепи ротора увеличиваются потери мощности (потери скольжения), которые вызывают дополнительный нагрев двигателя, снижая экономичность работы электропривода. Для облегчения теплового режима двигателя при его работе на пониженных скоростях в цепь ротора двигателя включен добавочный резистор $R_{\text{Д2}}$, наличие которого позволяет также расширить диапазон регулирования скорости.

Рассмотрим работу электропривода при изменении момента нагрузки $M_{\text{с}}$ на валу двигателя и постоянном задании скорости $U_{\text{з.с.2}}$. Допустим, что в исходном положении двигатель работал в т. *1* при моменте нагрузки $M_{\text{с1}}$ (рис. 12.1, *б*), а затем произошло его увеличение до значения $M_{\text{с2}}$.

При увеличении нагрузки на валу двигателя его скорость начнет снижаться, соответственно начнет уменьшаться и ЭДС тахогенератора $E_{\text{ТГ}}$. Уменьшение $E_{\text{ТГ}}$ вызывает увеличение напряжения управления $U_{\text{у}}$, что приведет к уменьшению угла управления тиристорами α и увеличению тем самым подаваемого на двигатель напряжения. Момент двигателя будет увеличиваться и в т. *2* сравняется с $M_{\text{с2}}$. Таким образом, увеличение момента нагрузки привело к небольшому снижению скорости двигателя.

При уменьшении момента нагрузки $M_{\text{с}}$ будет автоматически снижаться напряжение на двигателе и тем самым поддерживаться его скорость вращения на заданном уровне.

Изменяя с помощью потенциометра ЗП значение задающего напряжения $U_{\text{з.с.}}$, можно получить ряд механических характери-

стик электропривода с относительно высокой жесткостью и необходимой перегрузочной способностью двигателя.

Используя уравнения связи выходного U_1 и входного управляющего $U_у$ напряжений ТРН

$$U_1 = k_{т.р.н} U_у,$$

а также момента двигателя и приложенного к нему напряжения в относительной форме

$$M^* = \frac{M}{M_{ном}} = U_1^* = \frac{U_1}{U_{1ном}},$$

получаем после несложных преобразований

$$\gamma = \frac{U_{1ном}(\sqrt{M_{с2}^*} - \sqrt{M_{с1}^*})}{k_{т.р.н}\Delta\omega};$$

где перепад скорости $\Delta\omega$ соответствует изменению момента нагрузки в пределах $M_{с2}$—$M_{с1}$.

Если в схеме рис. 12.1, *а* используется усилитель сигнала $U_у$ (пропорциональный регулятор скорости) с коэффициентом усиления $k_у$, то последняя формула принимает следующий вид:

$$\gamma = \frac{U_{1ном}(\sqrt{M_{с2}^*} - \sqrt{M_{с1}^*})}{k_{т.р.н} k_у \Delta\omega}.$$

Замкнутая схема импульсного регулирования скорости АД с помощью резистора в цепи ротора. В схеме электропривода (рис. 12.2, *а*) с импульсным регулированием сопротивления в цепи выпрямленного тока ротора для получения жестких характеристик использована отрицательная обратная связь по скорости двигателя.

В роторную цепь двигателя включен неуправляемый трехфазный выпрямитель В, к выходу которого подключен резистор $R_{Д2}$. Параллельно резистору включен управляемый ключ, выполняемый, как правило, на основе полупроводниковых приборов.

Управление ключом происходит от широтно-импульсного модулятора ШИМ, на вход которого поступают сигналы задания $U_{з.с}$ и обратной связи $U_{о.с}$ по скорости. При поступлении на вход блока ШИМ сигнала ошибки $U_у = U_{з.с} - U_{о.с}$ он начинает генерировать импульсы управления. Эти импульсы с помощью схемы

управления ключом *СУК* распределяются по полупроводниковым приборам ключа и вызывают периодическое включение и закорачивание резистора $R_{Д2}$.

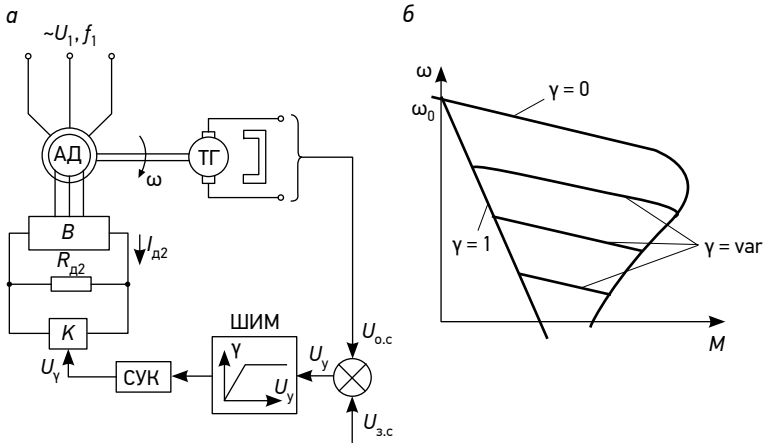


Рис. 12.2. Замкнутая система асинхронного электропривода с импульсным регулированием сопротивления в роторной цепи: *а* — схема, *б* — характеристики

Принцип получения жестких характеристик ЭП соответствует рассмотренному выше механизму действия обратной связи по скорости и состоит в следующем. Допустим, что двигатель работает в установившемся режиме при каком-то заполнении (скважности) ключа *К* и соответствующем эквивалентном сопротивлении цепи ротора. Пусть по каким-то причинам произошло увеличение момента нагрузки двигателя, в результате чего начнет снижаться его скорость. Тогда для сигнала управления $U_{у}$ он начнет повышаться, что вызовет увеличение заполнения работы ключа *К* и уменьшение тем самым эквивалентного сопротивления в цепи ротора $R_2 = (1 - \gamma)R_{Д2}$. Это, в свою очередь, приведет к увеличению тока в роторе и момента двигателя и прекращению снижения скорости, что соответствует жестким характеристикам электропривода, показанным на рис. 12.2, *б*. В схеме может быть достигнуто регулирование (ограничение) тока и момента, для чего она должна быть дополнена контуром регулирования тока. В этом случае механические характеристики имеют вертикальный участок, соответствующий заданному уровню ограничения тока и момента.

Следует отметить, что работа этого электропривода, как и в случае использования ТРН, характеризуется при регулировании скорости двигателя увеличением в цепи ротора потерь мощности, пропорциональных скольжению, что должно учитываться при выборе двигателя и добавочного резистора.

Замкнутые ЭП с использованием преобразователей частоты. В общем случае частотное управление двигателя, реализуемое с помощью преобразователей частоты, может быть осуществлено по трем вариантам:

— параметрическое управление, при котором управляющим воздействием на двигатель являются частота и действующее значение подаваемого на двигатель напряжения;
— частотно-токовое управление, при котором управляющим воздействием на двигатель являются частота и действующее значение тока двигателя;
— векторное управление, связанное с регулированием мгновенных значений питающих напряжений и токов с целью формирования электромагнитного момента двигателя нужной величины.

Замкнутый электропривод с параметрическим частотным управлением. С использованием этого принципа построены многие частотно-регулируемые асинхронные электроприводы. В них за счет различных обратных связей и функциональных блоков формируются жесткие рабочие участки механических характеристик двигателя для качественного регулирования его скорости, ограничиваются ток и момент и обеспечивается требуемое соотношение между регулируемыми частотой и напряжением.

Обобщенная схема такого электропривода представлена на рис. 12.3, *а*.

В качестве силового преобразователя применяется преобразователь частоты со звеном постоянного тока, состоящий из неуправляемого выпрямителя В и инвертора напряжения, выполненного на шести силовых модулях, состоящих из транзистора и диода. Между выпрямителем и инвертором включен фильтр, состоящий из реактора L и конденсатора C, обеспечивающий сглаживание выходного напряжения выпрямителя и необходимую циркуляцию реактивной энергии в силовой части схемы.

Инвертор работает в режиме широтно-импульсной модуляции и преобразует нерегулируемое напряжение постоянного тока

на выходе фильтра в регулируемое по частоте и амплитуде напряжение на статоре двигателя *М*. Силовая схема электропривода нереверсивная и не предусматривает электрического торможения.

Управление инвертором осуществляется сигналами f_y и U_y, определяющими значения выходных частоты и напряжения преобразователя частоты. Формирование этих сигналов осуществляется схемой управления, в состав которой входят регулятор скорости РС, регулятор тока РТ, датчики скорости ТГ и тока ДТ, суммирующие усилители (пропорциональные регуляторы) $\sum_1$ и $\sum_2$; блок ограничения БО сигнала РС, функциональный преобразователь ФП, задатчик интенсивности ЗИ.

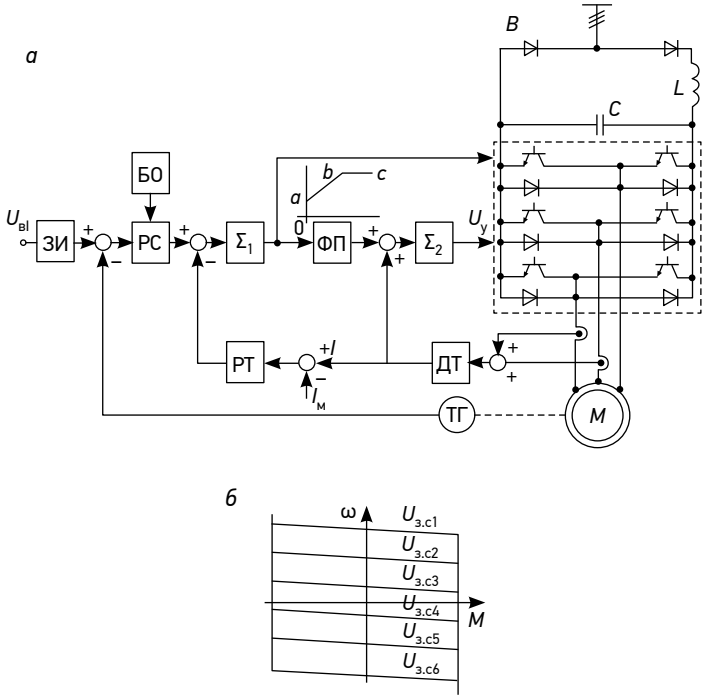


Рис. 12.3. Асинхронный электропривод при частотном управлении: *а* — схема, *б* — характеристики

Регулятор скорости РС в совокупности с задатчиком интенсивности ЗИ и сумматором $\sum_1$ обеспечивают требуемое регулирование скорости и ускорения двигателя в установившемся и переходных режимах работы электропривода с помощью сигнала f_y.

Ограничение тока статора и момента двигателя производится регулятором тока РТ, когда ток статора двигателя меньше тока уставки $I_м$, сигнал на выходе РГ равен нулю и схема управления обеспечивает режим поддержания заданной скорости. Когда ток статора превысит уставку тока $I_м$, резко увеличивается сигнал на выходе РТ, из-за чего резко снижается и сигнал на выходе сумматора $\sum_1$. Это приводит к уменьшению частоты и напряжения на статоре двигателя и тем самым к ограничению тока статора и момента двигателя.

Функциональный преобразователь ФП, характеристика которого в виде ломаной линии 0*abc* показана над его условным изображением на рис. 12.3, *а*, обеспечивает требуемое соотношение между частотой и выходным напряжением преобразователя частоты. Отрезком 0*a* создается начальное напряжение на выходе преобразователя, необходимое для преодоления падения напряжения на обмотке статора двигателя при малых частотах напряжения. Участок *ab* обеспечивает пропорциональное изменение частоты и напряжения (закон частотного управления $U/f = \text{const}$), при котором магнитный поток двигателя поддерживается постоянным. На участке *bc* величина напряжения на статоре остается неизменной, хотя при этом его частота может увеличиваться.

Для уменьшения влияния падения напряжения в цепи статора на величину магнитного потока двигателя и тем самым на его момент в схеме предусмотрена положительная обратная связь по току (так называемая *IR*-компенсация), сигнал которой поступает на вход сумматора $\sum_2$. При увеличении нагрузки двигателя возрастает его ток и увеличивается сигнал $U_у$, за счет чего возрастает выходное напряжение преобразователя, тем самым компенсируется падение напряжения в обмотке статора.

В современных электроприводах этого типа реализация блоков управления схемы рис. 12.3, *а* осуществляется с использованием микропроцессорных средств, а настройка их параметров и характеристик производится программным путем. Получаемые в этой схеме механические характеристики двигателя при различных сигналах задания скорости $U_{з.с}$ показаны на рис. 12.3, *б*.

В ряде случаев требуемое регулирование скорости может быть получено и в разомкнутой схеме без обратной связи по скорости. В этом случае в схеме отсутствуют РС и ТГ, а сигнал с выхода ЗИ непосредственно поступает на вход сумматора $\sum_1$; во всем остальном схема остается без изменения.

Схема частотно-токового управления АД. Схема электропривода представлена на рис. 12.4. Тиристоры *VS*1—*VS*6 образуют схему управляемого выпрямителя УВ, а тиристоры *VS*7–*VS*12 — схему автономного инвертора тока АИТ. Между этими блоками включен реактор *L* большой индуктивности с тем, чтобы придать инвертору свойства источника тока. Конденсаторы *C*1–*C*6 с диодами *VD*1–*VD*6 образуют цепи искусственной коммутации тиристоров *VS*7–*VS*12. Остальные элементы схемы имеют следующее назначение: СУВ и СУИ — схемы управления тиристорами выпрямителя и инвертора; РТ, ДТ — соответственно регулятор и датчик тока статора; ДС — датчик скорости; УО — усилитель-ограничитель; ФП — функциональный преобразователь. Схема работает следующим образом.

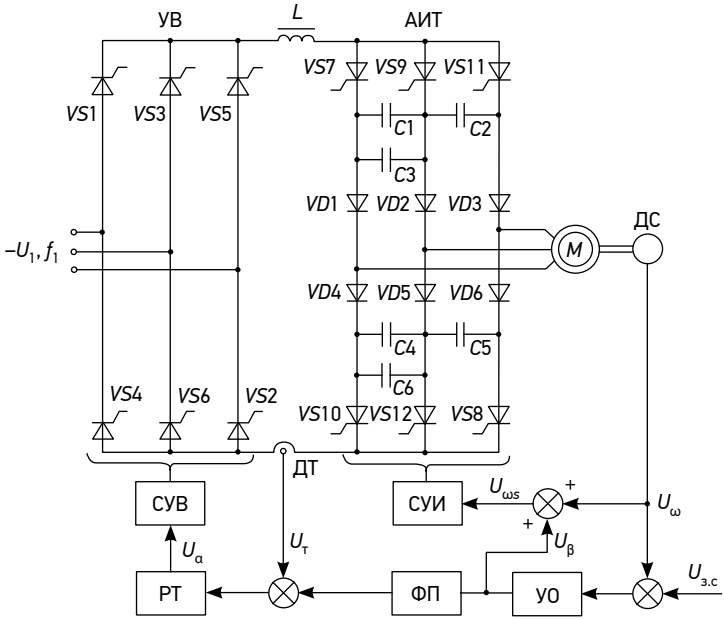


Рис. 12.4. Схема асинхронного электропривода при частотно-токовом управлении

Задающий сигнал $U_{з.с}$ задает частоту переключения тиристоров инвертора и тем самым частоту тока статора двигателя *M*. После вычитания из сигнала $U_{з.с}$ сигнала обратной связи по скорости U_{ω} получается сигнал U_{β}, пропорциональный относительной ча-

стоте ротора $\beta = f_1/f1_{ном}$ (величину β называют также абсолютным скольжением двигателя). Она связана со скольжением *s* двигателя следующим соотношением: $\beta = \alpha s$, где $\alpha = f_1/f1_{ном}$.

Сигнал U_β, пройдя через УО, вместе с сигналом U_ω поступает на вход СУИ. Частота на выходе инвертора определяется сигналом $U_{\omega s} = U_\omega + U_\beta$; СУИ настроена таким образом, что пока УО работает в линейной зоне, частота на выходе инвертора будет постоянной и независимой от нагрузки. Двигатель при этом имеет жесткие механические характеристики.

Сигнал U_β после прохождения через ФП является также сигналом для контура регулирования тока. Так как этот сигнал пропорционален абсолютному скольжению, то и ток двигателя при всех частотах будет ему пропорционален.

При резких изменениях задающего сигнала или при значительных перегрузках двигателя УО входит в зону ограничения (постоянства) своего выходного сигнала U_β, ограничивая тем самым на требуемом уровне и задание для тока. Двигатель при этом работает при любой скорости с постоянными значениями абсолютного скольжения и тока, т.е. механическая характеристика становится абсолютно мягкой.

В результате двигатель имеет характеристики, аналогичные показанным на рис. 12.4, *б*.

Схема позволяет осуществлять торможение двигателя с рекуперацией (отдачей) энергии в сеть, для чего инвертор переводится в режим выпрямления, и выпрямитель — в режим инвертирования тока.

Схемы векторного управления асинхронными двигателями. При необходимости получения высокого качества и диапазонов регулирования переменных асинхронного электропривода в установившемся и переходных режимах применяются так называемые схемы векторного управления, в которых решение этих задач обеспечивается за счет формирования электромагнитного момента двигателя. Принцип формирования момента может быть показан следующим образом.

Уравнение электромагнитного момента асинхронного двигателя может иметь различные формы записи в зависимости от используемых в этих уравнениях переменных и выбранной системы координат для их представления. При построении систем векторного управления процессы в двигателе удобно рассматривать в системе координат $X - Y$, в которой ось X совпадает по направлению

с потокосцеплением ротора ψ_2 и вращается с его скоростью. В этом случае уравнение электромагнитного момента трехфазного асинхронного двигателя имеет вид:

$$M = \frac{3pL_{12}\psi_2 i_{1y}}{2L_2};$$

где p — число пар полюсов двигателя; L_{12} — взаимоиндуктивность между статором и ротором; i_{1y} — составляющая тока статора по оси Y; L_2 — полная индуктивность ротора.

Так как составляющая тока статора i_{1y} по оси X определяет потокосцепление ротора ψ_2, то отсюда следует, что за счет регулирования i_{1x} и i_{ly} можно обеспечивать формирование момента двигателя. Составляющая i_{1x} может рассматриваться как намагничивающая реактивная составляющая тока статора двигателя, а i_{1y} — его активная составляющая, идущая на создание момента двигателя.

Отметим, что приведенное уравнение по своему виду аналогично формуле момента двигателя постоянного тока. В нем ψ_2 отражает магнитный поток двигателя постоянного тока, а i_{2y} — ток его якоря.

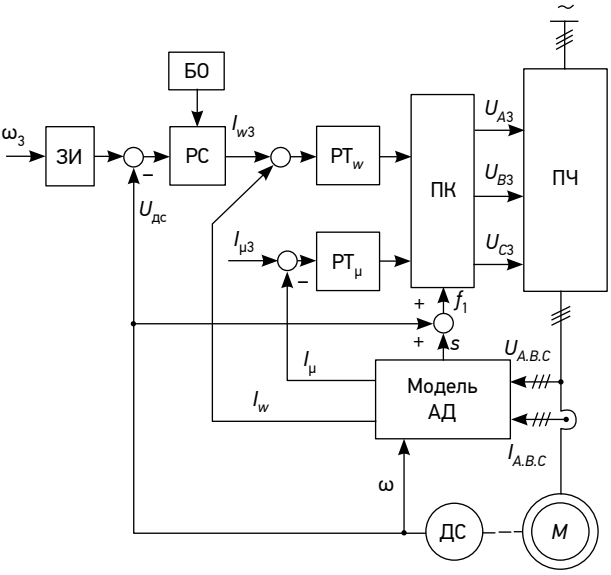


Рис. 12.5. Схема асинхронного электропривода при частотном векторном управлении

Принцип построения схемы векторного управления иллюстрирует рис. 12.5. Асинхронный двигатель *M*, на валу которого установлен датчик скорости (тахогенератор) ДС, получает питание от преобразователя частоты ПЧ. Регулирование момента производится регуляторами $РТ_w$ активной I_w и $РТ_\mu$, реактивной I_μ составляющих тока. Значения этих переменных получаются косвенным путем с помощью модели асинхронного двигателя «модель АД», на вход которой подаются сигналы фазных токов I_A, I_B, I_C, напряжений U_A, U_B, U_C и угловой скорости двигателя. Модель двигателя выдает информацию о скольжении двигателя *s* и составляющих токов I_w и I_μ.

Регулирование скорости производится по принципу подчиненного регулирования координат с использованием ПИ-регулятора скорости РС, задатчика интенсивности ЗИ и блока токоограничения БО. Управление ПЧ осуществляется системой трехфазных напряжений U_{A3}, U_{B3}, U_{C3}, которые формируются преобразователем координат ПК на основе сигналов регуляторов $РТ_W$ и $РТ_\mu$ и сигнала, пропорционального частоте f_1.

Векторное регулирование момента асинхронного двигателя обеспечивает его точное поддержание во всем диапазоне регулирования скорости, включая режимы работы электропривода на упор и его очень низкие «ползучие» скорости, что выгодно отличает его от параметрического (скалярного) регулирования.

Контрольные вопросы

1. Дайте схемы контактного и бесконтактного способов динамического торможения в функции скорости и времени.
2. Как осуществляется управление торможением противовключением и реверс двигателя?
3. Приведите схемное решение бесконтактного способа автоматического управления торможением.

Литература

1. Белов М. П., Новиков В. А., Рассудов Л. Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. — М. : Академия, 2004.
2. Москаленко В. В. Электрический привод : учебник. — М. : Академия, 2007.
3. Зимин Е. Н., Яковлев В. И. Автоматическое управление электроприводами. — М. : Высш. шк., 1999.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

Лабораторный практикум

Б1.В.08 СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Направление -
15.03.06 Мехатроника и робототехника
Профиль -
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____ *(подпись)*	Председатель _____ *(подпись)*
Волков Е.Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1 «ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКА ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ» 3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 «ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ» 5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 «ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОПАРЫ» 8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 «ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЯ» 12
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 «ИЗУЧЕНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕРМОСТАТА» 23
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 «ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКОВ ЦВЕТА И СВЕТА» 26

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1 «ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКА ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ»

Цель работы – проведение исследований по работе прибора для измерения давления – датчика давления.

Теоретическая часть

Конструкция датчика избыточного давления представлена на рис.1 Преобразователь выполнен в цилиндрическом корпусе 3, в нижней части которого расположен штуцер 4, предназначенный для присоединения к линии измеряемого давления. В верхней части корпуса расположена «обойма» 9, которая крепится в корпусе с помощью специальных защелок, позволяющих ей вращаться вокруг своей оси (относительно корпуса 3). Для фиксации положения обоймы относительно корпуса служит крышка 10, которая навинчивается на наружную резьбу верхней части корпуса 3. На обойме установлена приборная часть 2 электрического соединителя типа DIN43650C. В кабельной части 1 соединителя производится подсоединение проводов внешних электрических цепей с помощью винтовых зажимов (клемм) без применения пайки. Во входном отверстии 5 приемной полости штуцера преобразователя предусмотрена резьба для установки гидравлического дросселя, предназначенного для предотвращения повреждения мембраны чувствительного элемента преобразователя в случае возникновения гидроудара.

В штуцере преобразователя размещен чувствительный элемент 6. В качестве чувствительного элемента применен тензопреобразователь, на котором размещена тензочувствительная полупроводниковая схема из четырех тензорезисторов, соединенных в мост Уитсона.

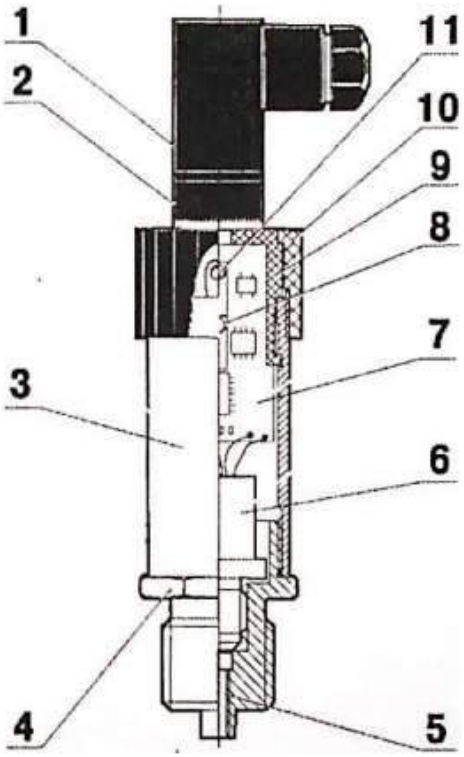


Рисунок 1

Под действием давления измеряемой среды мембрана чувствительного элемента прогибается. Тензорезисторы, деформируясь, изменяют свое сопротивление. В результате происходит разбалансировка моста пропорционально измеряемому давлению. Разбалансированный сигнал в виде

электрического сигнала преобразуется электронным блоком, расположенным в корпусе преобразователя, в выходной унифицированный сигнал постоянного тока 4...20 мА.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.
2. Убедиться, что все выключатели модулей стенда находятся в положении «ВЫКЛ»
3. Выбрать модули стенда для выполнения текущего задания. Расставить их на лабораторной стойке так, чтобы было удобно проводить эксперимент. Подготовить соединительные провода (перемычки), входящие в комплект поставки стенда.
4. Подключить защитное заземление.
5. Подключить модули стенда к сети ~220В 50Гц.
6. Соединить модули стенда согласно принципиальной электрической схеме или схеме соединений.
7. Провести эксперимент.
8. Отключить модули от сети ~220В 50Гц.
9. Составить отчет по лабораторной работе.

Порядок выполнения эксперимента:

1. Подготовить стенд к работе
2. Включить компрессор .
3. Подключить пневматическую трубку от компрессора в быстросъемный разъем на тыльной стенке модуля набор датчиков давления а1.
4. С помощью регулятора давления установить величину давления 0,1 Мпа на компрессоре.
5. Занести показания манометра и датчика давления в таблицу 1
6. С помощью регулятора давления увеличить значение давления на 0,1 МПа.
7. Занести показания манометра и датчика давления в таблицу
8. Повторить пункты 4-5 до достижения давления 0,4 МПа.
9. Выключить компрессор. Принять показания манометра за истинное значение давления. Вычислить абсолютную и относительную погрешность датчика давления.
10. Проанализировать результаты, сделать выводы по проделанной работе
11. Подготовить отчет и представить его преподавателю.

Таблица 1 Результаты исследования работы датчика давления

Номер измерения	Р манометра кПа	Р датчика давления кПа	ΔР датчика давления кПа
1			
2			
3			
4			
5			

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 «ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ»

Цель работы: проведение исследований по работе прибора для измерения давления – датчика дифференциального давления.

Теоретическая часть

Датчики дифференциального (перепада) давления применяются для преобразования перепада давления (разности давлений) в унифицированный выходной сигнал напряжения, тока или индуктивности. Наиболее популярными являются датчики с унифицированным токовым выходом 4-20 мА.

Устройство датчика и принцип работы.

Основным элементом датчика дифференциального давления служит измерительная мембрана, изготовленная из упругого металла. К ней крепятся чувствительные тензоризисторы, которые способны измерять величину ее деформации. Мембрану датчика и рабочая среда изолированы друг от друга, через защитные эластичные перепонки к ней передается давление. Специальная жидкость заполняет полости, которые расположены между ними.

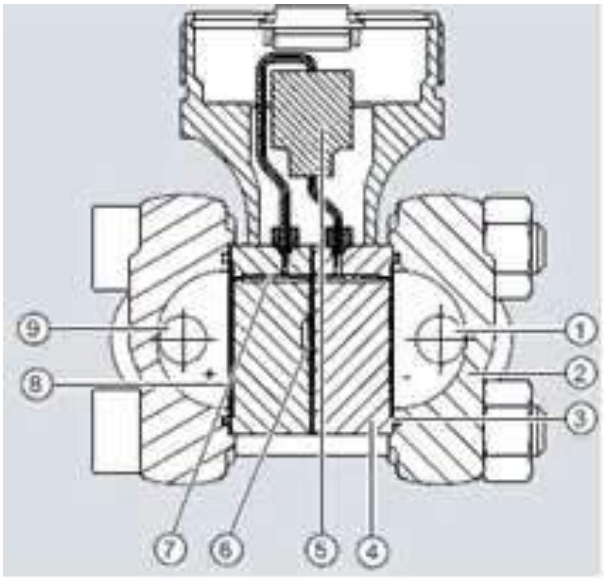


Рисунок 1 - Устройство датчика дифференциального давления : 1 - входное давление Р- ; 2 - фланцевые соединения подключениями к процессу; 3 - О-кольцо; 4 - корпус измерительной ячейки ; 5 - тонкий металлический проводник ; 6- перегрузочная мембрана ;7 - наполнительная жидкость ; 8 - разделительная мембрана ; 9 - входное давление Р+

Датчики, способные измерять дифференциальное давление, работают следующим образом: на защитные перепонки прибора воздействует давление рабочей среды, что в виде импульса передается на измерительную мембрану, которая оказывает влияние на тензисторы и влечет за собой изменение величины сопротивления. Электроника датчика фиксирует подобные модификации и на выходе преобразует их в аналоговый сигнал определенного значения.

Особенности приборов

Дифференциальные датчики от обычных преобразователей напора отличает ряд характерных отличительных черт. У дифференциальных датчиков 2 защитные мембраны, поэтому давление передается с двух сторон одновременно. В их конструкции предусмотрены 2 штуцера: минусовой и плюсовой. Когда измеряется

давление в рабочей среде, и показатели от напора на штуцер со знаком плюс превышают показатели минусового штуцера, то разница будет зафиксирована прибором с плюсовым значением, и наоборот.

Области применения приборов.

Сферы применения датчиков давления на сегодняшний день достаточно широка. Приборы данного типа используют в системах газоснабжения, вентиляции, водоподготовки, в нефтехимической, химической промышленности, на фармацевтическом производстве.

Измерение разницы напора в различных жидкостных средах необходимо для нормальной работы вентиляционных систем, а также устройств кондиционирования. Датчиками дифференциального давления пользуются для контроля загрязнённости систем фильтрации, управления демпферами, для регулирования и индикации воздушных потоков.

Принцип работы и строение датчика давления.

Главным элементом для такого датчика служит измерительная мембрана. Она изготавливается из упругого материала. Измеряется величина её деформации при помощи чувствительных тензорезисторов. Сама мембрана находится в изоляции от рабочих сред, давление на нее, оказывается, через защитные эластичные перепонки. Расположенные между мембраной и перепонками полости заполнены специальной жидкостью.

Давление оказывается из рабочей среды на перепонки, а они, в свою очередь, давят на измерительную мембрану. Мембрана передаёт импульс тензорезисторам, где меняется величина сопротивления. Эти слабые колебания улавливает встроенная электроника и преобразует их в аналоговый сигнал на выходе.

Особенности данных датчиков.

Отличием от прочих преобразователей напора является то, что дифференциальные датчики имеют две защитные мембраны и измеряют давление с двух сторон сразу. Также в них установлены плюсовой и минусовой штуцеры. Таким образом, прибор отражает разницу давления по обе стороны датчика.

Сферы применения приборов.

Данные датчики применяются при устройстве систем вентиляции, водоподготовки, газоснабжения.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.

2 . Убедиться, что все выключатели модулей стенда находятся в положении «ВЫКЛ»

3 . Выбрать модули стенда для выполнения текущего задания. Расставить их на лабораторной стойке так, чтобы было удобно проводить эксперимент. Подготовить соединительные провода (перемычки), входящие в комплект поставки стенда.

4. Подключить защитное заземление .

5. Подключить модули стенда к сети ~220В 50Гц.

6. Соединить модули стенда согласно принципиальной электрической схеме или схеме соединений.

7. Провести эксперимент.

8. Отключить модули от сети ~220В 50Гц.

9. Составить отчет по лабораторной работе.

Порядок выполнения эксперимента:

1. подготовить стенд к работе
2. включить компрессор .
3. подключить пневматическую трубку от компрессора в быстросъемный разъем на тыльной стенке «модуля набор датчиков давления» А2.
4. С помощью регулятора давления увеличить значение давления на 0,1 Мпа на компрессоре.
5. Занести показания манометра и датчика давления А2 в таблицу
6. Повторить пункты 4-5 до достижения давления 0,4 МПа.
7. Выключить компрессор.
8. Проанализировать результаты, сделать выводы по проделанной работе
9. Подготовить отчет и представить его преподавателю.

Номер измерения	Р манометра кПа	Р А2 датчика давления кПа
1		
2		
3		
4		
5		

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 «ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОПАРЫ»

Цель работы: изучение термопар как устройства для контактного контроля над температурой объекта.

Теоретическая часть

Термопара – термоэлемент, представляющий собой пару проводников из различных материалов, соединенных на одном конце. На свободных концах в результате действия термоэлектрического эффекта наводится ЭДС.

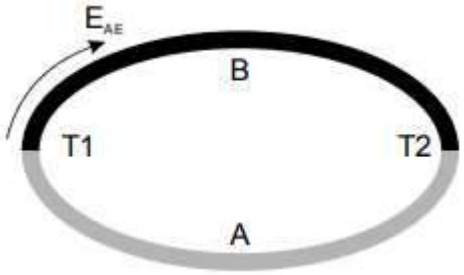


Рисунок 1

Термоэлектрический эффект, он же Эффект Зеебека – явление возникновения ЭДС в замкнутой электрической цепи (рис.1), состоящей из последовательно соединённых разнородных проводников (A и B), контакты между которыми находятся при различных температурах (T1 и T2).

Непосредственное практическое значение применительно к термопарам имеют следующие термоэлектрические законы.

Первый закон:

Возникающее в термопаре термо-ЭДС зависит от температуры спаев и не зависит от распределения температур по длине проводника (закон промежуточных температур Магнуса).

Иная его формулировка: термо-ЭДС термопары AB с температурами спаев T1 и T2 равна алгебраической сумме двух термо-ЭДС этой же термопары с температурами спаев T1 и T3, T3 и T2:

$$EAA(T1T2) = EAA(T1T3) + EAA(T3T2) \quad (1)$$

Это правило позволяет не заботиться о термостатировании термопары по всей ее длине и используется для градуировки термопар и определения поправок на температуру холодного спая.

Второй закон:

Если цепь состоит из трех проводников ABC, то термо-эдс термопары AB со спаями при температурах T1 и T2 равняется алгебраической сумме термо-эдс термопар AC и CB, спаи которых находятся при тех же температурах.

$$EAA(T1T2) = EAA(T1T2) + ECC(T1T2) \quad (2)$$

Этот закон ("промежуточных металлов") позволяет использовать удлинительные концы к термопарам и присоединять термопару к приборам с другими проводниками.

Нетрудно сообразить, что присоединенный в термостате к обоим проводам (A и B) термопары медный провод, который ведет к измерительному прибору (провод C в приведенной формуле) не меняет величины возникшей

электродвижущей силы термопары AB, поскольку эффекты от спаев CA и CB, находящихся при одной температуре компенсируют друг друга.

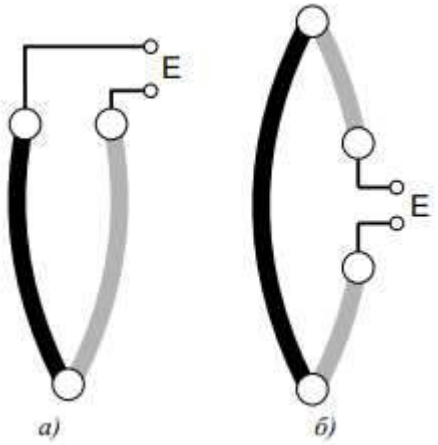


Рисунок 2

Таким образом, термопара может образовывать устройство или его часть, использующее термоэлектрический эффект для измерения температуры. В сочетании с электроизмерительным прибором термопара образует термоэлектрический термометр. Измерительный прибор или электронную измерительную систему подключают либо к концам термоэлектродов (рис. 2,а), либо в разрыв одного из них (рис. 2,б). В местах подключения проводников термопары к измерительной системе возникают дополнительные термо-ЭДС, которые взаимно компенсируется при равенстве температур вспомогательных спаев.

Так как термо-ЭДС термопары зависит от разности температур холодного и горячено концов,

для успешного преобразования ЭДС в температуру необходимо так же контролировать температуру холодного спая. На практике при измерении температур широко используется техника «компенсации холодного спая»: температура холодного спая измеряется другим датчиком температуры, а затем величина термо-ЭДС холодного спая программно или аппаратно вычитается из сигнала термопары.



Рисунок 3

Места подключения термопары к измерительной системе должны иметь одинаковую температуру, то есть находиться в изотермальной зоне. Кроме того, в схеме с компенсацией холодного спая в этой же зоне должен находиться и датчик температуры холодного спая. При конструировании измерительной системы эти требования должны учитываться.

При выборе термопары для производства замеров температуры в некотором диапазоне следует выбирать ту термопару, коэффициент линейности которой изменяется менее других в рамках этого диапазона. Для достижения высокой

точности измерений термопарного термометра во всем диапазоне рабочих температур необходима его калибровка.

Среди основных можно выделить следующие типы термопар:

ТХА (хромель-алюмелевая термопара) – предназначена для работы в окислительных и инертных

средах. Обладает более близкой к прямой характеристикой.

ТХК (хромель-копелевая термопара) – предназначена для работы в окислительных и инертных средах. Обладает наибольшей чувствительностью, высокой термоэлектрической стабильностью при температурах до 600°С. Недостаток: высокая чувствительность к деформациям.

ТПП (платинародий-платиновая термопара) – предназначена для длительной эксплуатации в

окислительных средах. Обладает хорошей устойчивостью к газовой коррозии (особенно на воздухе при высоких температурах); высокой надежностью при работе в вакууме, но менее стабильны в нейтральных средах. Недостаток: высокая чувствительность термоэлектродов к любым загрязнениям, появившимся при изготовлении, монтаже или эксплуатации термопар.

ТВР (вольфрам-рениевая термопара) – может использоваться как стандартные для установления

номинальных статических характеристик термопар методом сравнения. Обладает возможностью длительного применения при температурах до 2200°С в неокислительных средах; устойчивостью в аргоне, гелии, сухом водороде и азоте. Недостаток: плохая воспроизводимость термо-ЭДС, вынуждающая группировать термоэлектродные пары по группам с номинальными статическими характеристиками.

ТНН (нихросил-нисиловая термопара) – предназначена в качестве универсального средства измерения температур в диапазоне температур 0 - 1230°С. Обладает высокой стабильностью термо-ЭДС (по сравнению с ТХА, ТПП, ТПР), высокой радиационной стойкостью, высокой стойкостью к окислению электродов.

В зависимости от конструкции и назначения различают термопары погружаемые и поверхностные; с обыкновенной, взрывобезопасной, влагонепроницаемой или иной оболочкой (герметичной или негерметичной), а также без оболочки; обыкновенные, вибротряскоустойчивые и ударопрочные; стационарные и переносные и т.д.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.
2. Убедиться, что все выключатели модулей стенда находятся в положении «ВЫКЛ»
3. Выбрать модули стенда для выполнения текущего задания. Расставить их на лабораторной стойке так, чтобы было удобно проводить эксперимент. Подготовить соединительные провода (перемычки), входящие в комплект поставки стенда.
4. Подключить защитное заземление .
5. Подключить модули стенда к сети ~220В 50Гц.
6. Соединить модули стенда согласно принципиальной электрической схеме или схеме соединений.
7. Провести эксперимент.
8. Отключить модули от сети ~220В 50Гц.
9. Составить отчет по лабораторной работе.

Порядок проведения эксперимента

Все исследования датчиков температуры проводятся в диапазоне: от температуры окружающей среды до 80°С˚.

Ознакомиться с электрической схемой соединения датчика с измерительным прибором для снятия статической характеристики. Статическая характеристика датчика - функциональная зависимость между изменениями входной X и выходной Y величинами.

Собрать схему проведения эксперимента по исследованию датчика «ТЕРМОПАРА».



Рисунок 4

Представить схему для проверки преподавателю.

Включить питание модулей.

Включить нагревательный ТЭН.

Включить питание модулей. Произвести измерение напряжения на выходных клеммах термопары (0,2 – 2,0 мВ), изменяя температуру нагрева датчика от 25°С до 75°С.

По мере увеличения температуры записывать показания с дисплея прибора и показания величины показания напряжения с прибора через 1…2 °С.

Данные занести в таблицу и построить график зависимости Э.Д.С термопары от температуры.

Таблица.

	1	2	3	4	5	…	N
Время, сек							
Температура, °С							
Напряжение, мВ							

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 «ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЯ»

Цель работы: изучение динамических характеристик терморезистивного преобразователя.

Теоретическая часть

Термосопротивления представляют собой измерительный преобразователь с чувствительным элементом (проводник или полупроводник), который под воздействием температуры изменяет активное сопротивление электрическому току. Изменение электросопротивления данного материала при изменении температуры характеризуется температурным коэффициентом сопротивления □ (1/□С), который определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{\mathrm{R}_t - R_0}{R_0 t} \qquad (1)$$

где *t* – температура материала, °С; R_0 и R_t – электросопротивление при 0 °С и при температуре *t*, Ом.

Проводниковые ТС

Материалы, которые используют для изготовления проводниковых ТС должны быть устойчивыми к нагреванию, что обуславливает однозначность зависимости сопротивления от температуры и стойкость проводника против коррозии и, следовательно, достаточную точность измерений; иметь большой α обеспечивающий высокую чувствительность прибора; значительное удельное сопротивление проводника позволяющее изготовить термометры малых размеров; линейность характеристики.

Наиболее полно указанным требованиям отвечают платина (интервал температур – 260 ÷ +750 °С) и медь (интервал – 60 ÷ +180 °С).

Электрическое сопротивление проволоки платиновых термометров сопротивления в интервале температур от 0 до +650 °С определяется по формуле:

$$R_t = R_0\left(1 + At + Bt^2\right) \qquad (2)$$

где R_t – сопротивление термометра при температуре *t* °С; R_0 – сопротивление термометра при температуре 0 °С; *A* и *B* – постоянные коэффициенты.

Для платины марки «Экстра»

R_{100}/R_0=1,391;

A=3,96847·10^{-3} °С$^{-1}$;

B=5,847·10^{-7} °С$^{-2}$.

Сопротивление платины в интервале температур от –200 до 0 °С изменяется по закону:

$$R_t = R_0\left[1 + At + Bt^2 + Ct^3\left(t - 100\right)\right] \qquad (3)$$

где C = – 4,22·10^{-12} °С$^{-1}$.

У платины, применяемой для изготовления технических термометров α=3,9·10^{-3} 1/°С.

Из уравнений 1 и 2 видно, что характеристики платиновых термометров нелинейны однако отклонение от линейной характеристики не превышает 5% в интервале от 0 до 500°С и 19% в интервале температур от –200 до 0°С.

Электрическое сопротивление проволоки медных термометров сопротивления в интервале температур от –50 до +180°С определяется по формуле:

$$R_t = R_0(1+\alpha t) \qquad (4)$$

где α – температурный коэффициент сопротивления меди (α=4,26·10^{-3} °С$^{-1}$).

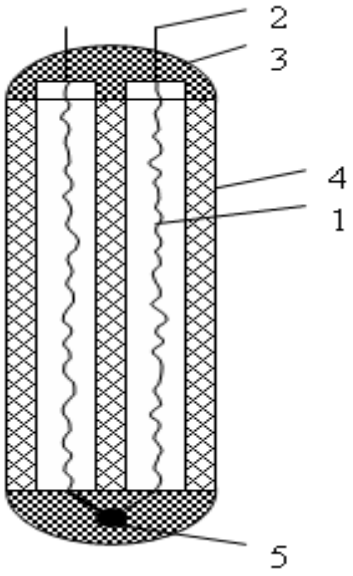


Рисунок 1 – Чувствительный элемент платинового ТС

К преимуществам меди следует отнести низкую стоимость, легкость получения ее в чистом виде, сравнительно высокий α=4,26·10^{-3} 1/°С и линейную зависимость сопротивления от температуры.

К недостаткам меди относятся малое удельное сопротивление и легкая окисляемость при температуре выше 100°С.

Кроме того для изготовления ТС используется никель и железо.

На рисунке показан чувствительный элемент платинового термометра. Он состоит из двух соединенных последовательно платиновых спиралей 1, расположенных в каналах керамического каркаса 4. К двум верхним концам этих спиралей припаяны платиновые или иридиево-родиевые (60% родия) выводы 2, к которым приварены выводные проводники изолированные керамическими бусами. Для крепления платиновых спиралей и выводов в керамическом каркасе используют глазурь (или термоцемент) 3 на основе окисей алюминия и кремния. Пространство между платиновыми спиралями и стенками каналов каркаса заполнено порошком окиси алюминия, который служит изолятором и улучшает тепловой контакт между спиралями и каркасом.

Для подгонки сопротивления при 0°С изменяют длину нижних концов платиновых спиралей с последующей пайкой 5.

Для защиты от воздействия химически агрессивных сред и механических повреждений чувствительные элементы помещают в кожух, выполненный из алюминия или нержавеющей стали. Все ТС выпускаются взаимозаменяемыми.

Термометры сопротивления ТСП выпускают с сопротивлением R_0=1 Ом (градуировка гр 1П), R_0=10 Ом (градуировка гр 10П) и R_0=50 Ом (градуировка гр 50П).

Термометры сопротивления ТСМ выпускают с сопротивлением R_0=10 Ом (градуировка гр 10М), R_0=50 Ом (градуировка гр 50М) и R_0=100 Ом (градуировка гр 100М).

Полупроводниковые ТС

Полупроводниковые термометры сопротивления, которые называются термисторами или терморезисторами, применяются для измерения температуры в интервале от –90 до +180 °С. Существенным их преимуществом является большой температурный коэффициент электрического сопротивления. Вследствие большого удельного электрического сопротивления полупроводников из них можно изготовить термометры малых размеров с большим начальным сопротивлением, что позволяет не учитывать сопротивление соединительных проводов и других элементов электрической измерительной схемы термометра.

Чувствительные элементы термисторов, изготовляемые из окислов меди, марганца, магния, никеля, кобальта и других металлов, имеют форму небольших цилиндров, дисков или шариков.

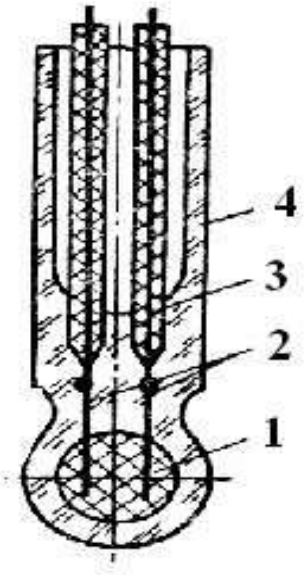


Рисунок 2 - Бусинковый полупроводниковый терморезистор

Сопротивление термисторов уменьшается с повышением температуры. Для большинства полупроводниковых сопротивлений зависимость электрического сопротивления от температуры имеет нелинейный характер и может быть в общем виде описана зависимостью:

$$R_{\mathrm{T}} = A \cdot e^{B/T} \qquad (4)$$

где R_{T} – электрическое сопротивление термистора при абсолютной температуре *T*, К; *A* и *B* – константы термистора.

На рисунке показан бусинковый терморезистор, состоящий из полупроводникового элемента 1, защищенного стеклянной оболочкой 4. В шарик 1 вмонтированы электроды 2 из платиновой проволоки, соединенные с никелевыми выводами 3.

Основным препятствием, ограничивающим широкое внедрение полупроводниковых терморезисторов в промышленность, является плохая воспроизводимость их параметров, что исключает их взаимозаменяемость, а также сравнительно невысокая максимальная рабочая температура (от –60 до 180°С).

В качестве устройств, измеряющих электрическое сопротивление термометров в функции температуры, применяют мосты и логометры. Мосты бывают уравновешенные и неуравновешенные, автоматические и неавтоматические.

Принципиальная схема уравновешенного моста показана на рис. Здесь R_1 и R_3 – постоянные сопротивления, R_2 – переменное сопротивление (реохорд), с помощью которого мост приводят в равновесное состояние, $R_\text{Т}$ – сопротивление термометра, НП – нуль-прибор.

При равновесии мостовой схемы ток I_0 в измерительной диагонали равен нулю, а падения напряжений на сопротивлениях R_1 и R_3 должны быть равны между собой, т.е.

$$I_1 R_1 = I_3 R_3 \tag{5}$$

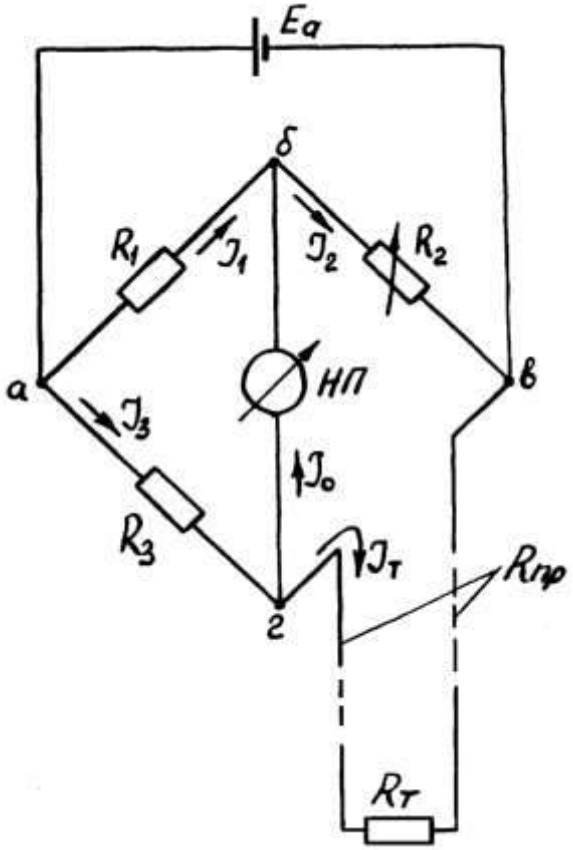


Рисунок 3 – Принципиальная схема уравновешенного моста

Кроме того, падения напряжений на плечах «*бв*» и «*вп*» также должны быть равными между собой, т.е.

$$I_2 R_2 = I_\text{Т}\left(R_\text{Т} + R_\text{пр}\right) \quad (6)$$

где $R_\text{пр}$ – сопротивление соединительных проводов.

Разделив (6) на (7) и принимая во внимание, что при равновесии моста $I_1 = I_2$; $I_3 = I_\text{Т}$, получим:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_\text{Т} + R_\text{пр}} \quad (7)$$

или

$$R_2 \cdot R_3 = R_1\left(R_\text{Т} + R_\text{пр}\right) \quad (8)$$

Следовательно, условием равновесия моста является равенство произведений сопротивлений противоположных плеч.

Из равенства (9) сопротивление термометра $R_\text{Т}$ будет равно:

$$R_\text{Т} = \frac{R_3}{R_1} R_2 - R_\text{пр} \quad (9)$$

Каждому значению R_T при равновесном состоянии мостовой схемы соответствует определенное значение R_2. Шкалу реохорда R_2 градуируют в °С, что позволяет по положению движка определить температуру нагрева термометра.

Для исключения влияния на результаты измерений колебаний сопротивления соединительных проводов применяют трехпроводную схему включения термометра (рисунок).

В этом случае для симметричного моста (когда $R_1 = R_3$) при условии равенства сопротивлений соединительных проводов равновесие моста будет иметь место при $R_\text{Т} = R_2$, т.е. изменение сопротивления проводов не будет влиять на результаты измерений.

Уравновешенные мосты имеют высокий класс точности, допускают колебания напряжения источника в пределах ±20 %, позволяют автоматизировать процесс измерения.

В неуравновешенном измерительном мосту тремя плечами являются постоянные сопротивления, а термометр сопротивления включается в четвертое плечо. К одной из диагоналей подключается источник питания, а в другую пирометрический милливольтметр (ПМ), показания которого зависят от сопротивления термометра. Сопротивление $R_к$ служит для контроля напряжения питания схемы.

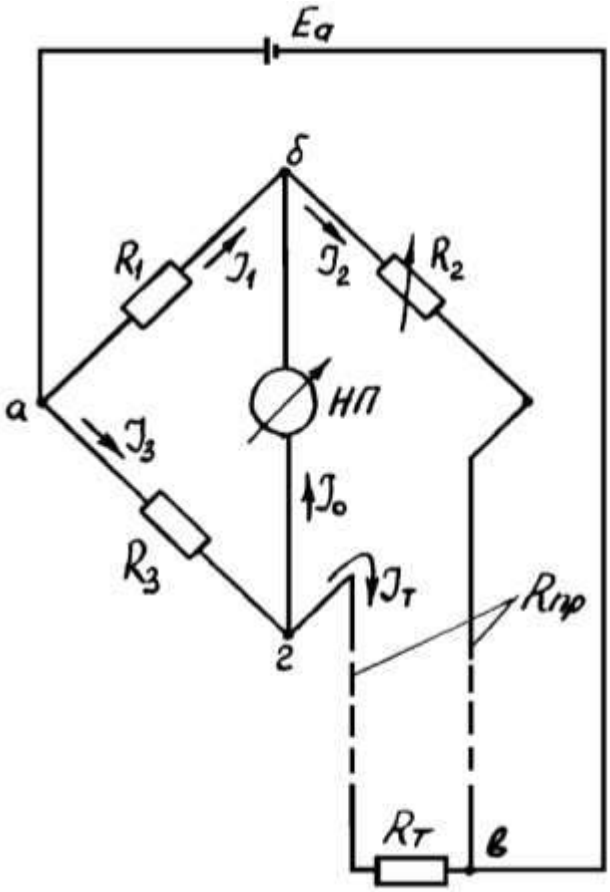


Рисунок 4 – Трехпроводная схема включения термометра сопротивления в уравновешенный мост

Перед началом измерений переключатель П ставят в положение 1. В этом случае четвертым плечом моста будет сопротивление $R_к$. Если питающее напряжение U_{ab} имеет номинальное значение, то стрелка милливольтметра устанавливается против контрольной отметки на шкале. Если этого нет, то, изменяя положение движка реостата R, выводят стрелку милливольтметра на контрольную отметку. При измерении переключатель ставят в положение 2. В этом случае четвертым плечом моста будет сумма сопротивлений $(R_Т + R_{пр})$, ток через рамку милливольтметра будет функцией этой суммы сопротивлений. Отсчет результата измерения производят по заранее проградуированной шкале милливольтметра. Такие мосты применяют крайне редко, так как результаты измерений зависят от колебаний сопротивления соединительных проводов и питающего мост напряжения. Рекомендуется применять неуравновешенные мосты в тех случаях, когда сопротивление датчика во много раз превышает сопротивление соединительных проводов.

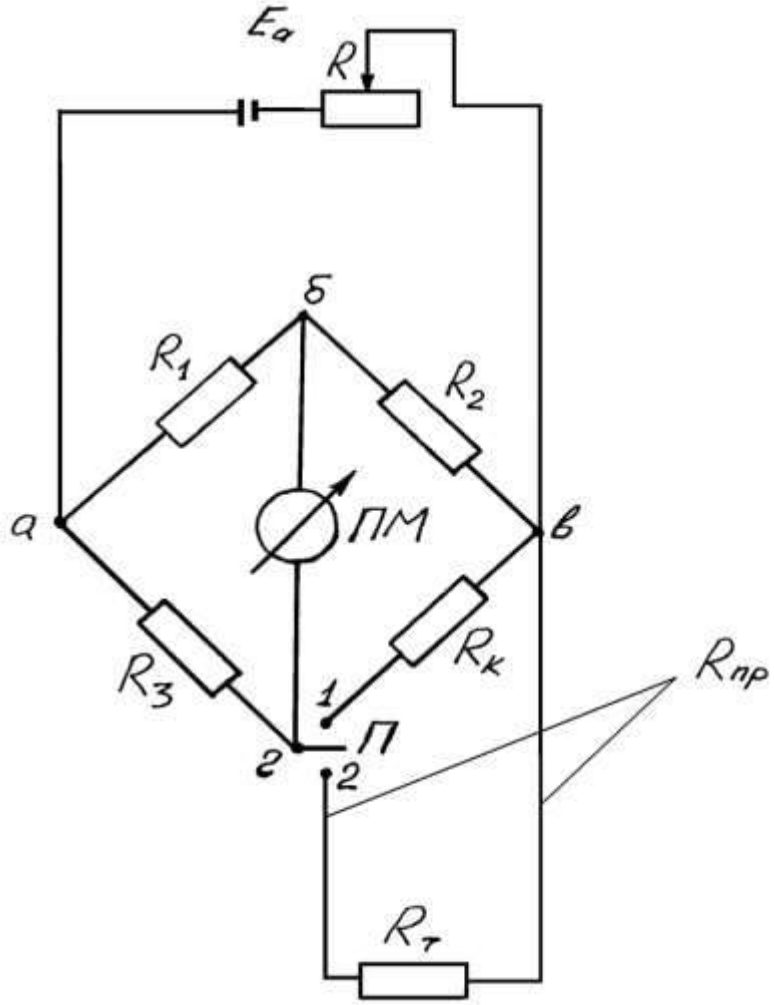


Рисунок 5 – Принципиальная схема неуравновешенного моста: E_a – источник питания; R – реостат для установки номинальной величины напряжения питания схемы; R_1, R_2, R_3 – постоянные сопротивления; П – переключатель; $R_к$ – контрольное сопротивление; $R_т$ – сопротивление термометра; $R_{пр}$ – сопротивление проводов;

Автоматические уравновешенные мосты широко используются для измерения и регистрации температуры в комплекте с ТС, а также других параметров, изменение которых может быть преобразовано в изменение активного сопротивления. Их характеризуют высокая точность и возможность использования в системах автоматического регулирования. Они выпускаются различных модификаций: одно- и многоточечные, с дисковой и ленточной диаграммой, с сигнальными устройствами и др.

На рисунке приведена принципиальная схема автоматического уравновешенного моста, работающего на переменном токе, который также как ручной равновесный мост, реализует нулевой метод измерения сопротивления.

Напряжение разбаланса на вершинах моста *a* и *b* подается на вход электронного усилителя ЭУ. В нем оно усиливается до величины, достаточной для приведения в действие реверсивного электродвигателя РД. Ротор двигателя вращается в ту или другую сторону в зависимости от знака напряжения разбаланса, через систему передач перемещает движок компенсирующего переменного резистора (реохорда) $R_р$, уравновешивая измерительную схему моста, а также перемещает показывающую стрелку. Если мост находится в равновесии, то ротор РД не вращается, т.к. напряжения на вход электронного усилителя не подается.

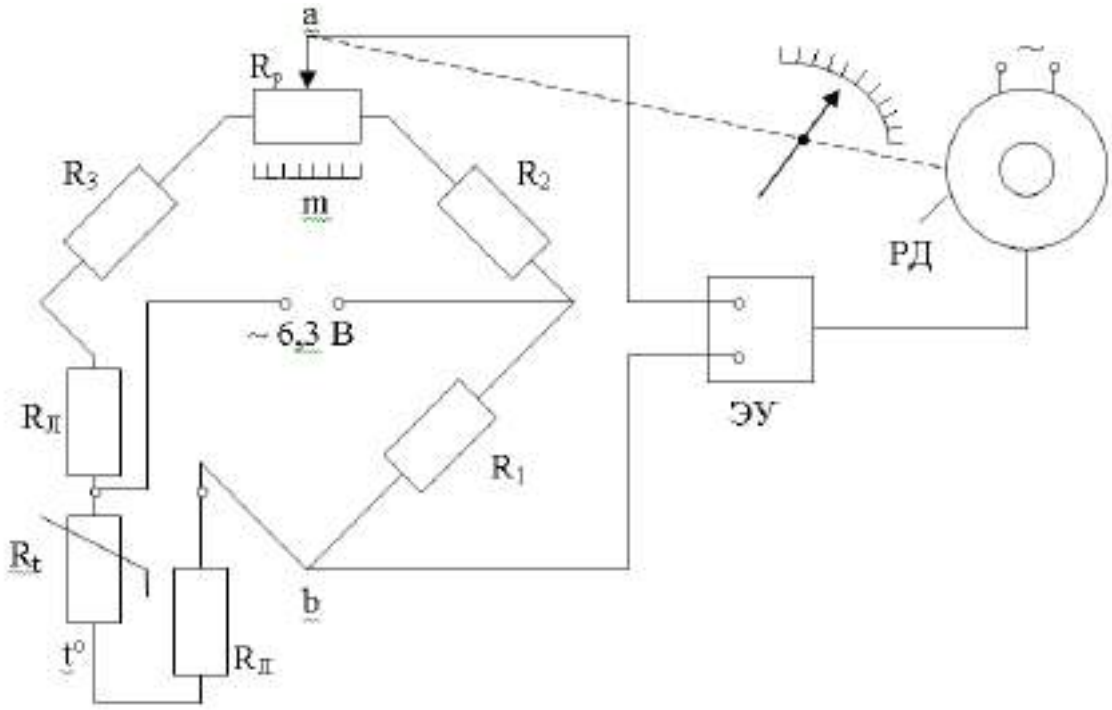


Рисунок 6 - Принципиальная схема автоматического уравновешенного моста

Кроме мостов, в качестве измерительных приборов для термометров сопротивления иногда применяют логометры, представляющие собой разновидность электроизмерительных приборов магнитоэлектрической системы (рисунок).

Постоянный магнит снабжен полюсными наконечниками *N* и *S* с цилиндрическими выточками. Центры выточек полюсных наконечников смещены относительно центра сердечника. Между полюсными наконечниками расположен цилиндрический сердечник из стали, вокруг которого вращается подвижная система из двух рамок RI и R2. К рамкам прикреплена стрелка, перемещающаяся вдоль шкалы. Воздушный зазор между полюсными наконечниками и сердечником неравномерный, поэтому магнитная индукция меняется (наибольшее значение в середине полюсных наконечников, наименьшее - у края), являясь функцией угла поворота от среднего положения.

К рамкам подводится ток от общего источника питания (*G*). В рамку R_1 ток поступает через термометр сопротивления R_T., в рамку R_2 – через резистор *R* постоянного сопротивления. Направление сил тока I_1 и I_2 таково, что вращающие моменты рамок оказываются направленными навстречу один другому.

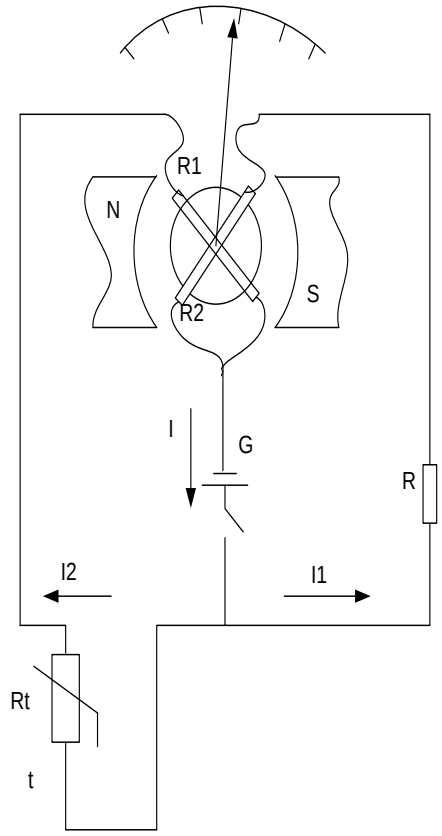


Рисунок 7 - Принципиальная схема логометра

Вращающие моменты рамок:

$$M_1 = C_1 \cdot B_1 \cdot \mathrm{I}\ , \tag{10}$$

$$M_2 = C_2 \cdot B_2 \cdot \mathrm{I}_2, \tag{11}$$

где C_1 и C_2 – постоянные, геометрических размеров и числа витков рамок; B_1 и B_2 – индукции в зоне расположения рамок.

Если сопротивление рамок одинаковое $R_1 = R_2$ и $R = R_t$, то $I_1 = I_2$, т.е. вращающие моменты рамок $M_1 = M_2$. При этом подвижная система находится в среднем положении. При изменении сопротивления термометра вследствие нагрева (или охлаждения) через одну из рамок потечет ток большей силы, равенство моментов нарушится, и подвижная система начнет поворачиваться в сторону действия большего момента. При вращении подвижной системы рамка, по которой течет ток большей силы, попадает в зазор с меньшей магнитной индукцией, вследствие чего действующий на нее момент уменьшается. При этом другая рамка входит в зазор с большей магнитной индукцией, и ее момент увеличивается. Вращение рамок продолжается до тех пор пока их вращающие моменты станут снова равны. В момент равновесия

$$C_1 \cdot B_1 \cdot \mathrm{I}_1 = C_2 \cdot B_2 \cdot \mathrm{I}_2 \tag{12}$$

или

$$\frac{\mathrm{I}_1}{\mathrm{I}_2} = \frac{C_2}{C1} \cdot \frac{B_2}{B_1} = C \cdot \frac{B_2}{B_1}. \tag{13}$$

Подставив в это уравнение значения I_1 и I_2, выраженные через напряжение источника питания U и сопротивление цепей, получим:

$$\frac{\dfrac{U}{R+R_t}}{\dfrac{U}{R_t+R_2}} = \frac{R_t+R_2}{R+R_1} = C\frac{B_2}{B_1}. \qquad (14)$$

Так как $B = f(\varphi)$, то и отношение $B_2/B_1 = f(\varphi)$; тогда

$$\frac{R_t+R_2}{R+R_1} = \mathrm{f}(\varphi) \qquad (15)$$

или

$$\varphi = f\left(\frac{R_t+R_2}{R+R_1}\right). \qquad (16)$$

В этом выражении R, R_1 и R_2 постоянные, поэтому угол поворота подвижной системы зависит только от сопротивления термометра: $\varphi = f(R_t)$.

Показания прибора не зависят от колебания напряжения источника питания только в определенных границах. Так, при колебаниях напряжения питания $\pm$ 20 % возникает угловая погрешность $\Delta\varphi \approx 0{,}5 - 1\%$.

К рамкам логометра ток подводится тремя тонкими спиральными волосками, служащими одновременно для возвращения стрелки прибора к началу шкалы при прекращении питания прибора током.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.

2 . Убедиться, что все выключатели модулей стенда находятся в положении «ВЫКЛ»

3 . Выбрать модули стенда для выполнения текущего задания. Расставить их на лабораторной стойке так, чтобы было удобно проводить эксперимент. Подготовить соединительные провода (перемычки), входящие в комплект поставки стенда.

4 . Подключить защитное заземление .

5 . Подключить модули стенда к сети ~220В 50Гц.

6 . Соединить модули стенда согласно принципиальной электрической схеме или схеме соединений.

7 . Провести эксперимент.

8 . Отключить модули от сети ~220В 50Гц.

9 . Составить отчет по лабораторной работе.

Порядок выполнения эксперимента:

Ознакомиться с электрической схемой соединения датчика с измерительным прибором для снятия статической характеристики. Статическая характеристика датчика - функциональная зависимость между изменениями входной X и выходной Y величинами.

Собрать схему проведения эксперимента по исследованию датчика «ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ».

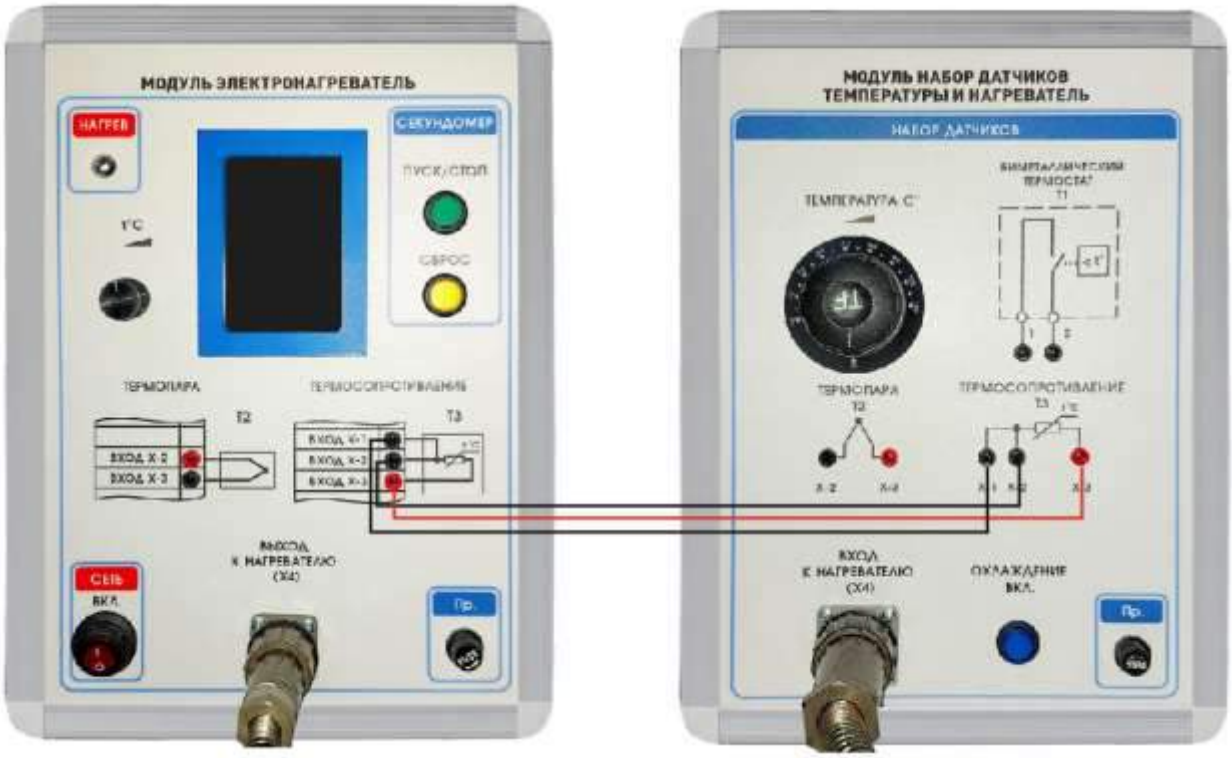


Рисунок 8

Представить схему для проверки преподавателю.

Включить питание модулей. Произвести измерение сопротивления на выходных клеммах датчика (2 – 10 Ом), изменяя температуру нагрева датчика от 25°С до 75°С

По мере увеличения температуры записывать показания с дисплея прибора и показания величины показания напряжения с прибора(мультиметра) через 1…2 °С.

Данные занести в таблицу и построить график зависимости сопротивления от температуры.

	1	2	3	4	5	…	N
Время, сек							
Температура, °С							
Сопротивление млОм							

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 «ИЗУЧЕНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕРМОСТАТА»

Цель работы – изучение биметаллического регулируемого термостата.

Теоретическая часть:

Впервые биметаллические пластины были применены в XVIII веке английским часовщиком Джоном Харрисоном, который использовал их для регулирования точности хода морских хронометров. Современный биметаллический терморегулятор - это наиболее практичное и дешевое решение проблемы контроля рабочего диапазона температур.

Принцип работы биметаллического термостата.

При нагреве металлы расширяются. Каждый имеет свой коэффициент линейного расширения, из-за чего происходит искажение размеров и формы изделий из них. Это свойство определяет механизм работы биметаллических термостатов, который имеет такую последовательность:

Происходит нагрев пластины, один из слоев которой удлиняется быстрее.

В зависимости от видов металлов происходит постепенный или мгновенный изгиб пластины. Второй вариант изменения ее формы также называется механической бифуркацией.

Пластина приводит в действие исполнительный механизм термостата, который разрывает цепь.

Пластина остывает и возвращается в первоначальное состояние. Контакты устройства срабатывают автоматически или принудительно через кнопку, включая при этом цепь.

По своей сути регулируемый биметаллический термостат является тепловым реле, препятствующим перегреву оборудования. Такие устройства обычно рассчитаны на относительно небольшие температуры (до 180°С). Они также имеют нерегулируемое исполнение.

Преимущества использования биметаллических терморегуляторов.

Тепловые реле имеются в счетчиках, автоматических выключателях, электромоторах, бытовой технике и различном промышленном оборудовании. Биметаллический терморегулятор имеет несомненные достоинства: предельную простоту и надежность – устройство выдерживает до 100 тыс. циклов срабатывания; высокую точность срабатывания – ±1°С; низкую цену – биметаллическое реле в разы, а иногда и на порядок дешевле термостатов капиллярного типа; компактность, энергонезависимость и прочее.

Недостатком является инерционность – устройство может срабатывать с некоторым запозданием, но эта проблема решается путем настройки реле на более слабый нагрев.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретические основы по материалам лекций или перечню рекомендованной преподавателем литературы.

2 . Убедиться, что все выключатели модулей стенда находятся в положении «ВЫКЛ»

3 . Выбрать модули стенда для выполнения текущего задания. Расставить их на лабораторной стойке так, чтобы было удобно проводить эксперимент. Подготовить соединительные провода (перемычки), входящие в комплект поставки стенда.

4 . Подключить защитное заземление.

5 . Подключить модули стенда к сети ~220В 50Гц.

6 . Соединить модули стенда согласно принципиальной электрической схеме или схеме соединений.

7 . Провести эксперимент.

8 . Отключить модули от сети ~220В 50Гц.

9 . Составить отчет по лабораторной работе.

Порядок выполнения эксперимента:

1. Собрать схему проведения эксперимента по исследованию датчика «биметаллический термостат».

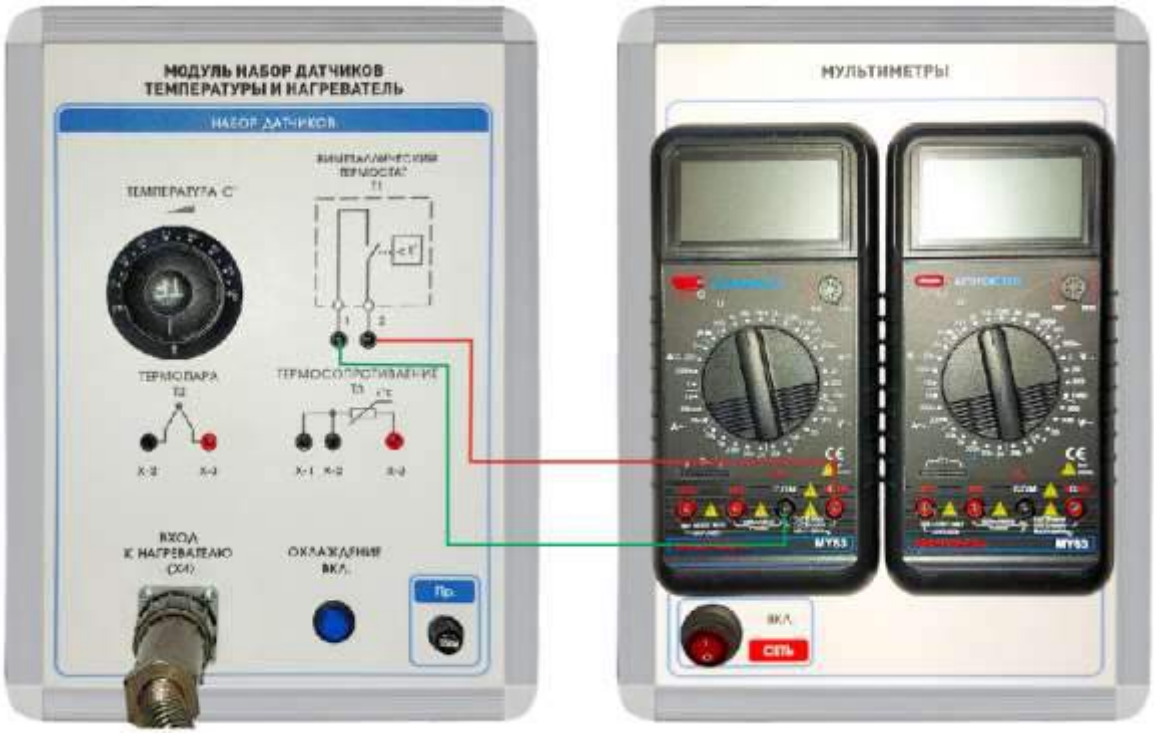


Рисунок 9

2. Представить схему для проверки преподавателю.

3. Включить питание модулей. На модуле «МУЛЬТИМЕТРЫ» установить режим

(прозвонки) 

4. выставить температуру на биметаллическом термостате 30 С˚

5. Выставить уставку по температуре 75 С˚на блоке «модуль электронагреватель»

6. Засечь на секундомере за какое время нагреется электронагреватель и замкнуться концы биметаллического термостата.

7. Повторить пункты 4-6 для 40,50,60 ,70 С˚

8. Записать показания в таблицу

9. Построить график зависимости температуры срабатывания термостата от времени

Таблица

Температура уставки теромостата, °С	30С˚	40С˚	50С˚	60С˚	70С˚
Температура уставки нагревателя, °С	75С˚	75С˚	75С˚	75С˚	75С˚
Время, сек					

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 «ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКОВ ЦВЕТА И СВЕТА»

1.1. Цель работы:

1. Изучение датчика цвета.
2. Изучение фотодиода и влияния силы света на его характеристики.
3. Изучение фоторезистора и влияния силы света на его характеристики.
4. Изучение фототранзистора и влияния силы света на его характеристики.

1.2. Теоретические сведения

1. Датчик цвета TCS3200 можно использовать для распознавания цветов окружающих предметов в роботизированных системах. Датчик состоит из четырех светочувствительных сенсоров с оптическими фильтрами – красным, зеленым, голубым и бесцветным. Это позволяет выделить из света, отражающегося от исследуемого материала, четыре цветовых компонента.

Также на датчике располагаются четыре белых светоизлучающих диода, которые нужны для подсветки исследуемой поверхности.



Рисунок 1.2.1

Основа модуля определения цвета RKP-TSC3200 это микросхема TCS3200 (TAOS TCS3200 RGB sensor chip) представляет собой матрицу из фотодиодов 8 x 8, всего 64 фотодиода в одном кристалле. Из них 16 фотодиодов имеют синий светофильтр, 16 фотодиодов имеют зеленый светофильтр, 16 фотодиодов имеют красный светофильтр и 16 фотодиодов без светофильтра.

Такая внутренняя компоновка микросхемы TCS3200 позволяет датчику измерять интенсивность цвета в четырех цветовых диапазонах: синем, зеленом, красном и белом.

Питание датчика цвета необходимо осуществлять от источника питания напряжением +5 В. Управлять работой датчика можно сигналами S0, S1, S2, S3 и S4.

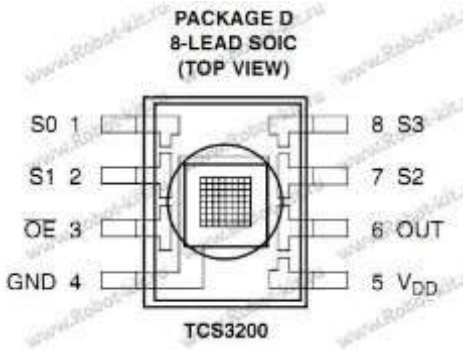


Рисунок 1.2.2

Датчик выдает информацию о цвете в виде импульсов, частота которых пропорциональна интенсивности света поступающего на соответствующий сенсор. Для удобства исследований цифровой выходной сигнал преобразован в аналоговый при помощи ЦАП.

2. Фотодиод - прибор, основанный на явлении фотовольтаического эффекта в полупроводниковом контактном переходе и предназначенный как для работы с приложением внешнего напряжения, так и без него.

В настоящее время при создании фотодиодов чаще других применяются p-n переходы, поэтому рассмотрим работу таких фотодиодов.

Фотодиод представляет собой пластинку полупроводникового материала, внутри которого имеются области примесной электронной (*n* – область) и дырочной (*p* – область) проводимостей. Границу между этими областями называют контактным *p-n* переходом (рисунок 1.2.3). Электронная и дырочная области снабжены невыпрямляющими контактами с присоединенными к ним выводами, с помощью которых осуществляется связь с внешней цепью. С целью предохранения чувствительного слоя фотодиода от воздействия внешней среды он покрывается лаком или монтируется в герметичном корпусе, изготовленном или из металла (со стеклянным входным окном) или из пластмасс.

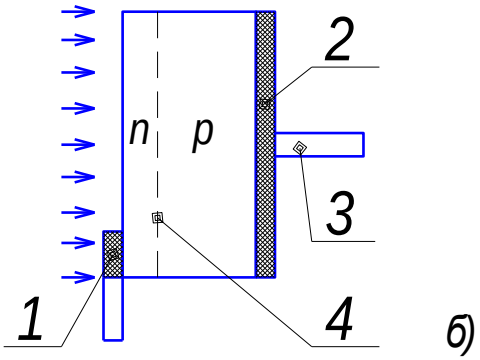


Рисунок 1.2.3 - Принципиальная схема фотодиода

Если внутри полупроводника граничат две области с разным типом проводимости, то возникает диффузия основных носителей тока: диффузионные токи электронов из *n* – области в *p* – область (ток I_{nn}) и дырок из *p* – области в *n* – область (ток I_{pp}). Приконтактные области объединяются основными носителями. Это приводит к появлению объемных зарядов вблизи границы, образованных неподвижными зарядами ионизированных атомов примеси (рисунок 1.2.4).

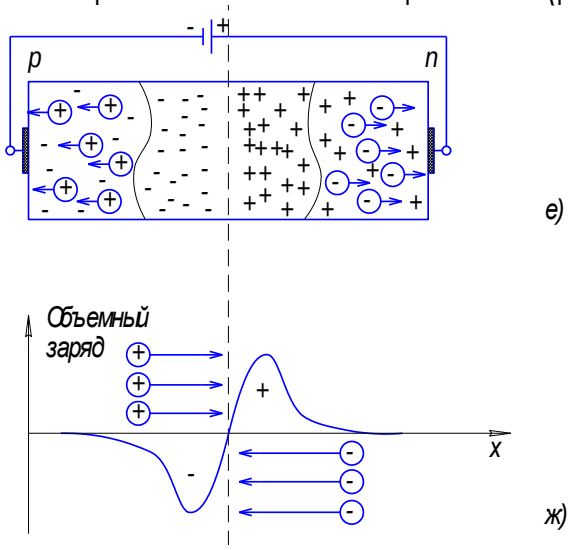


Рисунок 1.2.4 – Формирование p-n перехода

По мере нарастания объемных зарядов нарастает электрическое поле, противодействующее диффузии основных носителей (возникает потенциальный

барьер движению основных носителей и диффузионные токи основных носителей уменьшаются. Разность потенциалов этого поля называют контактной разностью потенциалов V_k, знак ее соответствует обеднению приконтактных областей основными носителями тока. Преодолеть потенциальный барьер могут только те из основных носителей, энергия которых больше энергии потенциального барьера ($E_k=eV_k$, e – заряд электрона).

Одновременно с диффузионным током основных носителей возникает встречный дрейфовый ток неосновных, т.к. для них контактное электрическое поле является ускоряющим. Дырки из n – области переходят в p – область (ток I_{pn}), а электроны из p – области – в n – область (ток I_{np}). Контактная разность потенциалов возрастает до тех пор, пока потоки основных и неосновных носителей через p-n переход не достигнут динамического равновесия:

$$I_{nn} = I_{np};\ \ I_{pp} = I_{pn} \tag{1.1.1}$$

При этом во внешней цепи ток отсутствует:

$$I_1 = I_{nn} + I_{pp} - I_{np} - I_{pn} = 0 \tag{1.1.2}$$

При приложении внешнего напряжения V_D потенциальный барьер изменяется на величину eV_D. Равновесие тока нарушается. При этом поток неосновных носителей через p-n переход изменяется незначительно, а ток основных носителей зависит от V_D: при прямом включении (плюс к p – области, минус к n – области) контактная разность потенциалов уменьшается и ток основных носителей очень быстро возрастает с увеличением V_D. При обратоном включении контактная разность потенциалов увеличивается и ток основных носителей практически прекращается. Вольт-амперная характеристика неосвещенного p-n перехода приведена на рисунок 1.2.5 (кривая $Ф$ = 0), где за положительные приняты: запирающее напряжение на диоде и обратный ток диода.

При облучении одной из областей излучением с энергией квантов $E_Ф$, превышающей ширину запрещенной зоны собственного полупроводникового материала этой области (ΔE) – $E_Ф > \Delta E$ – в объеме полупроводника генерируются пары неравновесных носителей тока – фотоэлектроны и фотодырки (внутренний фотоэффект в собственном полупроводнике). Когда дифференцирующие в объеме полупроводника фотоносители достигают области p-n перехода, в контактном электрическом поле происходит пространственное разделение пар: основные фотоносители остаются в объеме той области, где они возникли; неосновные свободно проходят через p-n переход, так как для них контактное поле является ускоряющим. Таким образом, неосновные фотоносители создают внутри p-n перехода дополнительный ток, который называют фототоком I_F.

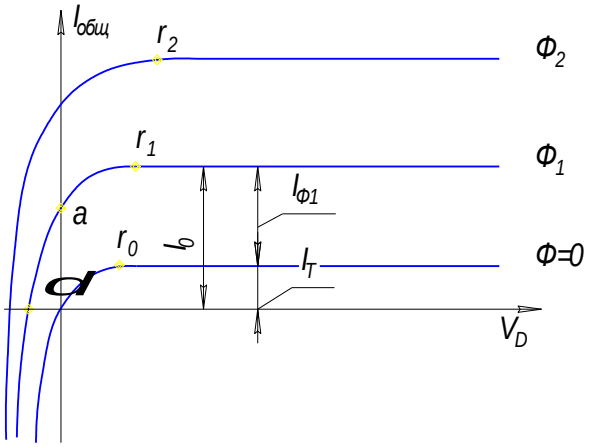
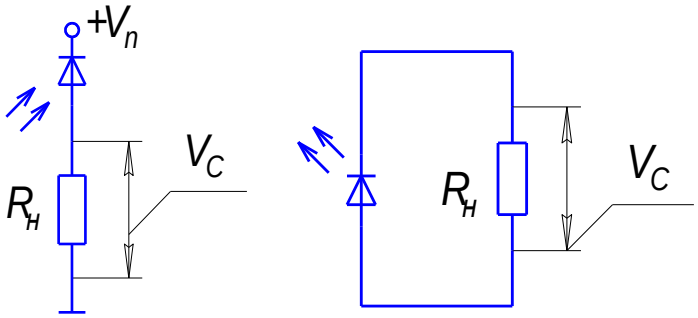


Рисунок 1.2.5 - Вольт-амперная характеристика *p-n* перехода

В зависимости от способа включения фотодиода и способа измерения фотосигналом цепи включения может служить или фототок или напряжение фотосигнала.

Фототок фотодиода преобразуется в напряжение фотосигнала посредством включения в электрическую цепь сопротивления нагрузки R_H

Применяют два способа (основных) включения фотодиода: фотодиодный режим (рисунок1.2.6(а)), вентильный режим (рисунок 1.2.6(б))



а б

Рисунок 1.2.6 - Фотодиодный (а) и вентильный (б) режимы работы фотодиода

Вентильный режим характерен отсутствием внешнего источника питания, т.е. используется способность *p-n* перехода фотодиода генерировать фотосигналы – фототок или фото ЭДС.В фотодиодном режиме внешнее напряжение V_D прикладывается в запирающем направлении.

3. Фоторезистор – это датчик, электрическое сопротивление которого меняется в зависимости от интенсивности падающего на него света. Чем интенсивней свет, тем больше создается свободных носителей зарядов и тем меньше становится сопротивление элемента.

Фоторезистор представляет собой тонкую пластинку или пленку полупроводника 1 с омическими контактами 2 на двух противоположных концах (рисунок 1.2.7), к которым подключается электрический источник питания. Полупроводник обычно наносится на стеклянную подложку 3.

Наиболее распространены фоторезисторы на основе CdS и CdSe, спектральные характеристики которых располагаются в видимой области спектра. В Инфракрасном диапазоне работают фоторезисторы из Ge, Si и т.д.

Падающее на поверхность фоторезистора излучение генерирует в нем свободные носители за счет собственного или примесного поглощения. Принцип

работы фоторезистора приведен на рисунке 1.2.8.

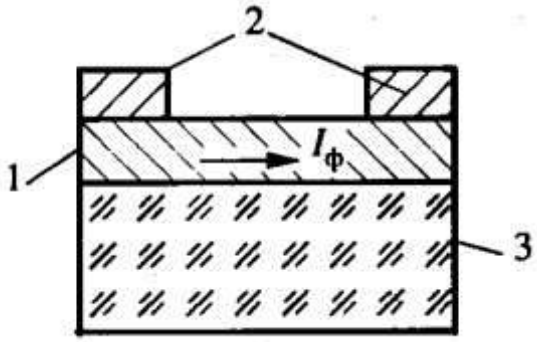
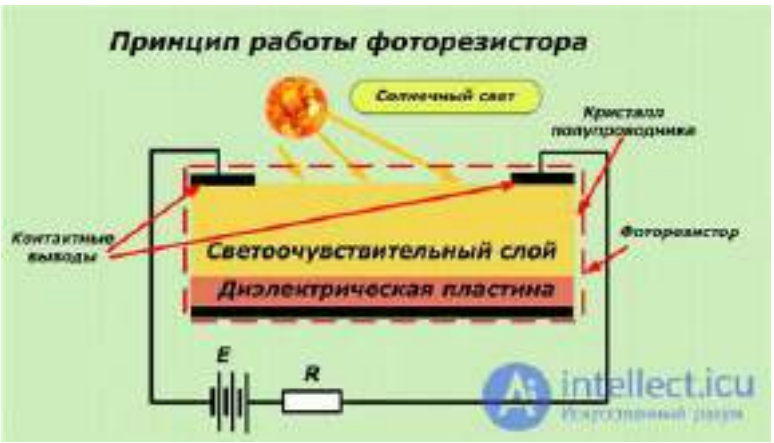


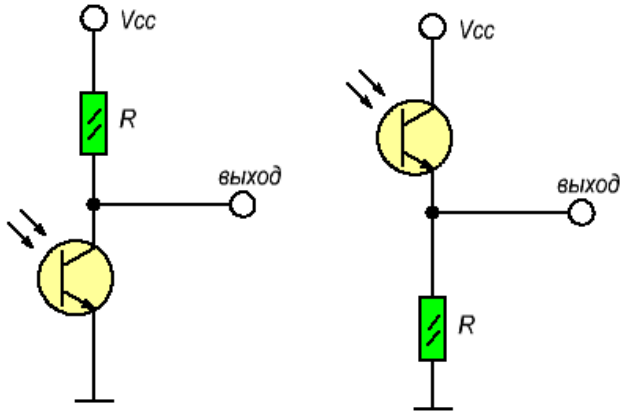
Рисунок 1.2.7 – Схема фоторезистора



1.2.8 – Принцип работы фоторезистора

4. Фототранзистор представляет собой твердотельное полупроводниковое устройство с внутренним усилением, которое используется для обеспечения аналоговых и цифровых сигналов. Фототранзисторы используются в детекторах дыма, лазерных радарах, системах дистанционного управления. Фототранзисторы более чувствительны по сравнению с фотодиодами, а также создают больший фототок.

Существует 2 основные схемы включения фототранзистора (рисунок 1.2.9).



1.2.9 – Схемы включения NPN транзистора. а – с общим эмиттером,

б – с общим коллектором

В случае включения по рисунку 1.2.9(а) сигнал переходит из высокого состояния в низкое в момент освещения фототранзистора, в случае 1.2.9(б) происходит обратное.

В обоих случая фототранзисторы могут использоваться в двух режимах работы: работа в активном режиме, работа в режиме переключения.

Работа в активном режиме подразумевает, что фототранзистор генерирует выходной сигнал пропорциональный степени его освещенности. То есть значение выходного сигнала имеет обратную зависимость от освещенности. Работа в режиме переключения подразумевает, что фототранзистор в ответ на его освещение будет либо «выключен», либо «включен». Активный режим используется тогда, когда необходимо различать несколько порогов напряжения. Режим переключения используется тогда, когда необходимо получить цифровой выходной сигнал. Переход от одного режима к другому осуществляется подбором резистора (в цепи коллектора в случае 1.2.9(а) или эмиттера в случае 1.2.9(б)). Обычно для режима переключения используется резистор номиналом более 5кОм, а для активного режима менее 5кОм.

Структура

1.3. Порядок проведения экспериментов:

В работе используются:

- модули: «Мультиметры», «Датчики цвета и света», «Регулируемый источник питания постоянного тока».

1. Изучение датчика цвета.

1.1 Ознакомиться с схемой соединения датчика с измерительным прибором (рисунок 1.3.1). В качестве измерительных приборов используются измерительные приборы модуля «Мультиметры».

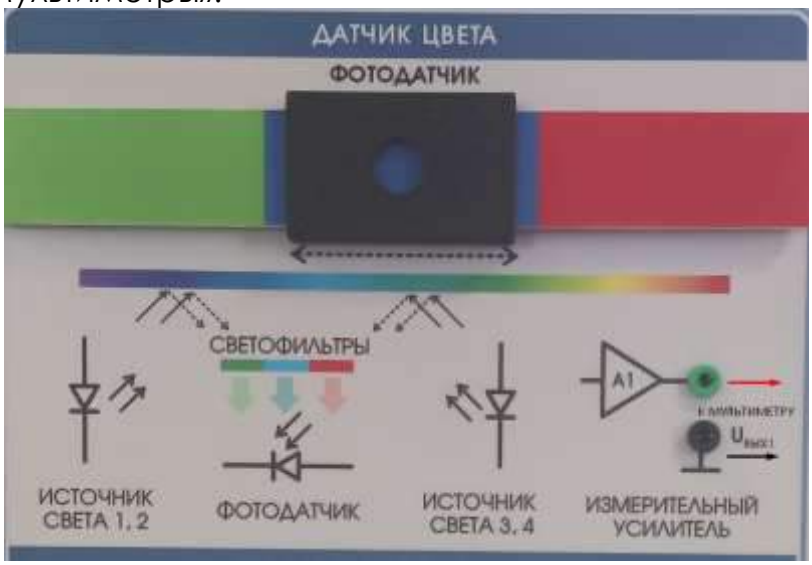


Рисунок 1.3.1 – Подключение мультиметра для исследования датчика цвета

1.2 Собрать схему проведения эксперимента по исследованию датчика.

1.3 Включить питание модулей.

1.4 Произвести исследование датчика без фильтра, с красным светофильтром, с зеленым светофильтром и синим светофильтром. Для этого произвести выбор светофильтра нажатием кнопки «ВЫБОР СВЕТОФИЛЬТРА» до зажигания контрольного светодиода «ЦВЕТ» цветом, соответствующем выбранному светофильтру.

1.5 Поочередно изменяя цвета полос, измерить выходное напряжение каждого датчика с различными светофильтрами.

1.6 Данные занести в таблицу 1.3.1.

Таблица 1.3.1

Фильтр\Цвет полосы	красный	синий	зеленый
Uвых (мВ)без фильтра			
Uвых (мВ)красный			
Uвых (мВ)синий			
Uвых (мВ)зеленый			

1.7 Сделать соответствующие выводы по данному разделу лабораторной работы.

2. Изучение фотодиода и влияния силы света на его характеристики

2.1 Ознакомьтесь с схемой соединения фотодиода с измерительными приборами и источником питания (рисунок 1.3.2). Вольтметр необходимо установить в положение – измерение постоянного напряжения 20В. Амперметр необходимо установить в положение – измерение постоянного тока 2 мА.

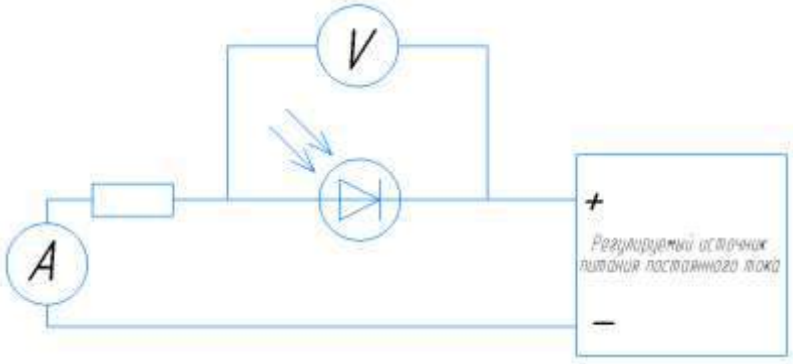


Рисунок 1.3.2 – Подключение мультиметра и источника питания для исследования характеристик фотодиода в фотодиодном режиме работы

2.2 Собрать схему проведения эксперимента по исследованию характеристик фотодиода.

2.3 Включить питание модулей.

2.4 Установить напряжение питания 3В на модуле «Регулируемый источник питания постоянного тока».

2.5 Изменяя значение силы света (E(lx) при помощи ручки, зафиксировать значения напряжения и тока на мультиметрах и записать их в таблицу 1.3.2. В таблице указано значение освещенности для 11 рисок на поворотной ручке в порядке возрастания (0 соответствует 0 Lx, 1 соответствует 2150 Lx).

Таблица 1.3.2

Хар-ки\E(lx)	0	150	320	630	850	1100	1350	1610	1860	1990	2150
U_d											
I_d											

2.6 На основании полученных значений постройте зависимость фототока от освещенности.

2.7 Измените значение напряжения питания на 5В и повторите пункты 2.5 и 2.6.

2.8 Измените значение напряжения питания на 7В и повторите пункты 2.5 и 2.6.

2.9 Провести аналогичные опыты без источника питания (схема на рисунке 1.3.3).

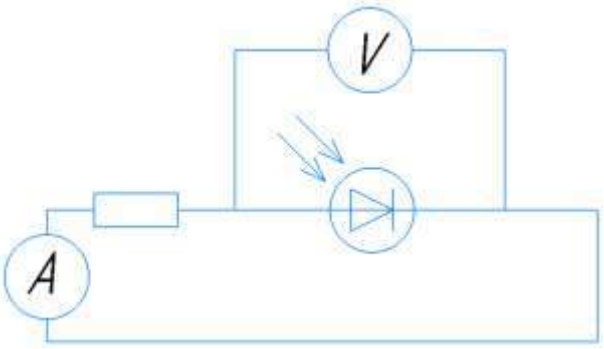


Рисунок 1.3.3 – Подключение мультиметра и источника питания для исследования характеристик фотодиода в вентильном режиме работы

2.10 Сделать соответствующие выводы по данному разделу лабораторной работы.

3. Изучение фоторезистора и влияния силы света на его характеристики

3.1 Ознакомьтесь с схемой соединения фоторезистора с измерительными приборами и источником питания (рисунок 1.3.4). Вольтметр необходимо установить в положение – измерение постоянного напряжения 20В. Амперметр необходимо установить в положение – измерение постоянного тока 20 мА.

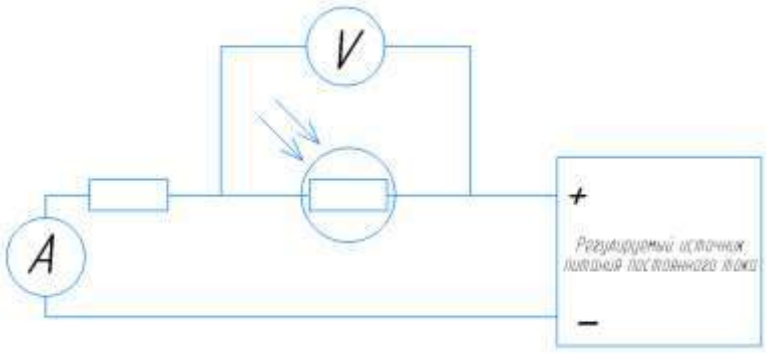


Рисунок 1.3.4 – Подключение мультиметра и источника питания для исследования характеристик фоторезистора

3.2 Собрать схему проведения эксперимента по исследованию характеристик фоторезистора.

3.3 Включить питание модулей.

3.4 Установить напряжение питания 3В на модуле «Регулируемый источник питания постоянного тока».

3.5 Изменяя значение силы света (E(lx) при помощи ручки, зафиксировать значения напряжения и тока на мультиметрах и записать их в таблицу 1.3.3. В таблице указано значение освещенности для 11 рисок на поворотной ручке в порядке возрастания (0 соответствует 0 Lx, 1 соответствует 2150 Lx).

Таблица 1.3.3

Хар-ки\E(lx)	0	150	320	630	850	1100	1350	1610	1860	1990	2150
U_{fr}											
I_{fr}											

3.6 На основании полученных значений постройте зависимость фототока от освещенности.

3.7 Измените значение напряжения питания на 5В и повторите пункты 3.5 и 3.6.

3.8 Измените значение напряжения питания на 7В и повторите пункты 3.5 и 3.6.

3.9 Сделать соответствующие выводы по данному разделу лабораторной работы.

4. Изучение фототранзистора и влияния силы света на его характеристики

4.1 Ознакомьтесь с схемой соединения фототранзистора с измерительными приборами и источником питания (рисунок 1.3.5). Вольтметр необходимо установить в положение – измерение постоянного напряжения 20В. Амперметр необходимо установить в положение – измерение постоянного тока 20 мА.

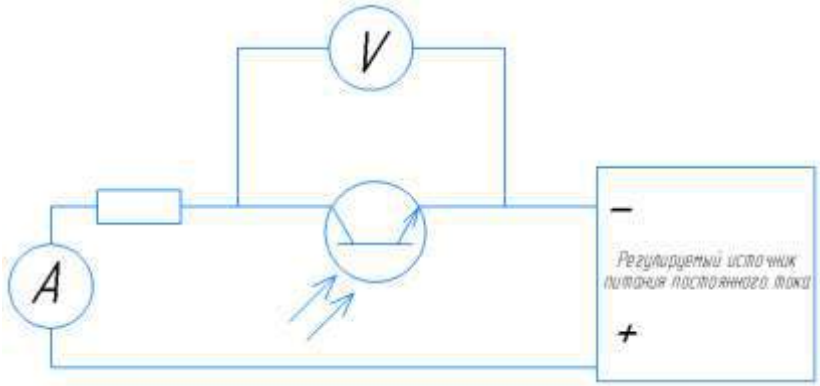


Рисунок 1.3.5 – Подключение мультиметра и источника питания для исследования характеристик фототранзистора в активном режиме

4.2 Собрать схему проведения эксперимента по исследованию характеристик фоторезистора.

4.3 Включить питание модулей.

4.4 Установить напряжение питания 3В на модуле «Регулируемый источник питания постоянного тока».

4.5 Изменяя значение силы света (E(lx) при помощи ручки, зафиксировать значения напряжения и тока на мультиметрах и записать их в таблицу 1.3.4. В таблице указано значение освещенности для 11 рисок на поворотной ручке в порядке возрастания (0 соответствует 0 Lx, 1 соответствует 2150 Lx).

Таблица 1.3.4

Хар-ки\E(lx)	0	150	320	630	850	1100	1350	1610	1860	1990	2150
U_{vt}											
I_{vt}											

4.6 На основании полученных значений постройте зависимость фототока от освещенности.

4.7 Измените значение напряжения питания на 5В и повторите пункты 4.5 и 4.6.

4.8 Измените значение напряжения питания на 7В и повторите пункты 4.5 и 4.6.

4.9 Сделать соответствующие выводы по данному разделу лабораторной работы, определить режим работы фототранзистора.

ЗАМЕТКИ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.В.08 СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Направление -
15.03.06 Мехатроника и робототехника
Профиль -
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Волков Е.Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 9
Основы метрологии 11
1.1. Краткий исторический обзор 11
1.2. Термины и определения 14
1.3. Задачи метрологии 18
1.4. Международная система единиц 22
1.4.1. Общие положения 22
1.4.2. Основные единицы 23
1.4.3. Производные единицы 25
1.4.4. Внесистемные единицы 27
1.4.5. Кратные и дольные единицы 32
1.4.6. Единицы количества информации 33
1.4.7. Достоинства Международной системы единиц 33
2. Основы теории погрешностей 34
2.1. Общие положения 34
2.2. Нормальный закон распределения 38
2.3. Распределение Стьюдента 40
2.4. Распределение χ^2 41
2.5. Классификация погрешностей 43
2.6. Количественные характеристики погрешностей 46
3. Характеристики средств измерений 48
3.1. Общие положения 48
3.2. Статические характеристики 49
3.3. Динамические характеристики 50
3.4. Универсальные характеристики 53
3.5. Характеристики погрешностей 54
3.6. Классы точности 55
4. Статические погрешности средств измерений 60

4.1. Общие положения ... 60
4.2. Выявление промахов ... 62
4.3. Систематические погрешности ... 65
4.4. Случайные погрешности ... 67
4.5. Суммарные погрешности ... 69
4.6. Правила округления ... 72
4.7. Пример расчета ... 73
5. Доверительные интервалы и погрешности погрешностей ... 78
5.1. Общие положения ... 78
5.2. Погрешность арифметического среднего ... 78
5.3. Погрешность систематической погрешности ... 79
5.4. Погрешность среднего квадратического отклонения ... 81
5.5. Необходимое число измерений ... 82
5.6. Пример расчета ... 86
6. Динамические погрешности средств измерений ... 90
6.1. Общие положения ... 90
6.2. Передаточные функции ... 92
6.3. Частотные характеристики ... 95
6.4. Пример расчета ... 97
7. Погрешности результатов измерений ... 102
7.1. Погрешности прямых многократных измерений ... 102
7.1.1. Порядок оценки ... 102
7.1.2. Пример расчета ... 106
7.2. Погрешности прямых однократных измерений ... 109
7.2.1. Порядок оценки ... 109
7.2.2. Примеры расчета ... 112
7.3. Погрешности косвенных измерений ... 116
7.3.1. Порядок оценки погрешностей классическим методом ... 116
7.3.2. Порядок оценки погрешностей по МИ 2083–90 ... 120
7.3.3. Примеры расчета ... 124

7.4. Неопределенности измерений 129
8. Измерения физических величин 135
8.1. Общие положения 135
8.2. Датчики 137
8.3. Измерительные схемы 139
8.4. Средства измерения электрических величин 141
9. Построение и применение датчиков 143
9.1. Общие положения 143
9.2. Классификация датчиков 144
9.3. Параметрические датчики 147
9.3.1. Реостатные датчики 147
9.3.2. Датчики контактного сопротивления 149
9.3.3. Тензорезисторные датчики 151
9.3.4. Фоторезисторные датчики 155
9.3.5. Терморезисторные датчики 157
9.3.6. Индуктивные датчики 160
9.3.7. Емкостные датчики 167
9.4. Генераторные датчики 169
9.4.1. Термоэлектрические датчики 169
9.4.2. Пьезоэлектрические датчики 175
9.4.3. Индукционные датчики 178
9.4.4. Датчики Холла 180
9.4.5. Трансформаторные датчики 182
9.5. Тенденции развития датчикостроения 186
10. Динамика термочувствительных датчиков 188
10.1. Исходные данные 188
10.2. Скачкообразное изменение температуры 190
10.3. Линейное изменение температуры 195
11. Мостовые измерительные схемы 199
11.1. Общие положения 199

11.2. Основные соотношения при исследовании чувствительности 201
11.3. Основные соотношения при исследовании линейности 203
12. Неравновесные токовые мостовые измерительные схемы 204
12.1. Чувствительность токовых мостовых схем 204
12.1.1. Общие положения 204
12.1.2. Основные соотношения 206
12.1.3. Выводы и рекомендации 213
12.2. Линейность токовых мостовых схем 215
12.2.1. Общие положения 215
12.2.2. Основные соотношения 217
12.2.3. Выводы и рекомендации 226
13. Неравновесные потенциальные мостовые схемы 228
13.1. Чувствительность потенциальных мостовых схем 228
13.1.1. Общие положения 228
13.1.2. Основные соотношения 229
13.2. Линейность потенциальных мостовых схем 231
13.2.1. Общие положения 231
13.2.2. Основные соотношения 233
13.2.3. Выводы и рекомендации 242
14. Равновесные мостовые схемы 245
14.1. Общие положения 245
14.2. Датчик в первом плече 245
14.3. Датчик во втором плече 248
14.4. Датчик в третьем плече 250
14.5. Датчик в четвертом плече 251
14.6. Примеры расчета равновесных схем 253
15. Мостовые схемы переменного тока 257
15.1. Общие положения 257
15.2. Измерения параметров катушек индуктивности 262
15.3. Измерение параметров конденсаторов 267

15.4. Шестиплечие мостовые схемы 271
15.5. Трансформаторные мостовые схемы 272
15.6. Выводы и рекомендации 274
16. Примеры использования равновесных мостовых измерительных схем 276
16.1. Двух- и трехпроводные схемы включения датчиков 276
16.2. Автоматические мостовые схемы 277
17. Аналоговые электромеханические приборы 279
17.1. Общие положения 279
17.2. Магнитоэлектрические приборы 281
17.3. Электромагнитные приборы 284
17.4. Электродинамические приборы 288
17.5. Электростатические приборы 291
17.6. Индукционные приборы 294
17.7. Логометры 296
18. Приборы сравнения 299
18.1. Общие положения 299
18.2. Компенсаторы постоянного тока с ручным управлением 299
18.3. Автоматические компенсаторы постоянного тока 302
18.4. Полярно-координатные компенсаторы переменного тока 305
18.5. Прямоугольно-координатные компенсаторы переменного тока 306
19. Аналоговые электронные приборы 309
19.1. Общие положения 309
19.2. Вольтметры средних значений 310
19.3. Вольтметры амплитудных значений 314
19.4. Конденсаторные частотомеры 317
19.5. Омметры 320
20. Цифровые измерительные приборы 324
20.1. Общие положения 324
20.2. Электромеханические цифровые приборы 326
20.3. Электронные цифровые приборы 328

20.3.1. Времяимпульсные вольтметры 328
20.3.2. Уравновешивающие вольтметры 330
20.3.3. Электронно-счетные частотомеры 333
20.3.4. Измерители временных интервалов 335
20.3.5. Измерители разности фаз 338
20.4. Мультиметры 340
21. Измерительно-компьютерные системы 341
22. Измерение электрических токов 344
22.1. Общие положения 344
22.2. Измерение постоянного тока 346
22.3. Измерение переменного тока 351
23. Измерение электрических напряжений 354
23.1. Общие положения 354
23.2. Измерение постоянного напряжения 356
23.3. Измерение переменного напряжения 360
24. Измерение электрических сопротивлений 365
24.1. Общие положения 365
24.2. Измерение малых сопротивлений 370
24.3. Измерение средних сопротивлений 376
24.4. Измерение больших сопротивлений 384
25. Измерение температуры 389
25.1. Общие положения 389
25.2. Термометры 394
25.3. Пирометры 403
Заключение 411
Библиографический с писок 413
Приложение 1. Статистические таблицы 418
Приложение 2. Критерий согласия по ГОСТ 8.508 – 84 423
Приложение 3. Характеристики датчиков 426
Приложение 4. Условные обозначения на шкалах и корпусах приборов 438

Приложение 5. Характеристики электроизмерительных приборов..... 441
Приложение 6. Условные графические обозначения в схемах 447
Приложение 7. Обозначение единиц измерения, их кратных и дольных значений 450
Приложение 8. Классификация электронных электроизмерительных приборов и система их обозначения..... 451
Приложение 9. Технические характеристики стандартных измерительных шунтов 454
Приложение 10. Технические характеристики устройства типа И58М 455
Приложение 11. Технические характеристики добавочного сопротивления типа Р-109..... 457
Приложение 12. Технические характеристики жидкостных термометров 458
Приложение 13. Технические характеристики манометрических термометров.. 460
Приложение 14. Визуальный оптический пирометр «Проминь» 461
Приложение 15. Телескоп пирометра суммарного излучения типа ПИРС-019 с усилителем 462

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее учебное пособие посвящено методам и средствам измерения. В работе приводятся основные понятия, встречающиеся в теории и практике метрологического обеспечения измерений. Рассмотрены методы и средства измерений физических величин, в том числе датчики, мостовые измерительные схемы, электроизмерительные приборы и приборы для измерения неэлектрических величин.

Особенно детально рассмотрены вопросы, связанные с погрешностями, так как в задачу каждого измерения входит не только определение искомой величины, но и оценка погрешности полученного результата.

Следует отметить, что в настоящее время отсутствуют учебники и учебные пособия (см., например, [1–12]), которые бы в полной мере отвечали учебным планам специальностей: 230101 – ВМКСС; 230102 – АСУ; 280101 – БЖТ; 280103 – ЗЧС; 280104 – ПБ и рабочим программам по дисциплинам «Методы и средства измерений», «Метрология, стандартизация и сертификация» для студентов всех форм обучения перечисленных выше специальностей.

Монографии [13; 20–22] написаны для специалистов и по своему содержанию не могут служить учебными пособиями. В других случаях [1; 2; 7], стремясь к краткости и лаконичности, авторы опускают ряд существенных разделов курса. К тому же некоторые положения (например, по Международной системе единиц, по оценке погрешностей и др.) получили новую трактовку, что потребовало внести соответствующие изменения и дополнения.

При написании данного учебного пособия была сделана попытка охватить все вопросы, возникающие при изучении методов и средств измерений, а также основ метрологии, стандартизации и сертификации в соответствии с требованиями учебных планов и рабочих программ. Особенно большое внимание уделяется метрологии как науке об измерениях и их единстве. Значительная часть учебного пособия посвящена методам оценки погрешностей результатов и средств измерений.

Для сокращения объема учебного пособия некоторые второстепенные положения рассмотрены сравнительно кратко, без подробных доказательств и выкладок, а некоторые разделы изложены в виде инструкций и рекомендаций.

Работа снабжена приложениями, содержащими справочные данные, что может облегчить ее использование как практического руководства при оценке, например, погрешностей результатов и средств измерений без привлечения других книг и справочников. Последнее обстоятельство расширяет область использования учебника. И хотя учебник предназначен в основном для студентов, он с успехом может быть использован аспирантами, инженерами, преподавателями и научными работниками.

Библиографический список, приведенный в конце работы, включает в себя учебники, учебные пособия, монографии, справочники, нормативные документы и статьи, опубликованные в журналах и научных трудах. Ссылки на конкретные литературные источники приводятся по мере необходимости при рассмотрении соответствующих тем и задач метрологии и технических измерений. Новая литература, изданная в последние годы, приведена в конце библиографического списка. Здесь также представлен перечень нормативных документов, ссылки на которые сделаны в учебнике.

Автор благодарит рецензентов – закафедрой автоматизации производственных процессов УГЛТУ, кандидата технических наук, доцента С.П. Санникова и старшего научного сотрудника ИММ УрО РАН, кандидата технических наук, доцента С.И. Кумкова – за доброжелательное отношение к рукописи и за полезные замечания, сделанные ими при рецензировании.

Автор выражает признательность научному редактору, кандидату технических наук, доценту кафедры автоматики и управления в технических системах УГТУ–УПИ В.И. Паутову за большую работу по научному редактированию учебного пособия. Особую признательность автор выражает кандидату технических наук, доценту кафедры автоматики и информационных технологий УГТУ–УПИ Н.П. Бессонову за ценные советы и предложения, высказанные им при обсуждении рукописи.

ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

1.1. Краткий исторический обзор

Термин «метрология» образован из двух греческих слов: «метрон» – мера и «логос» – учение. В дословном переводе «метрология» – это учение о мерах или, как принято определять в настоящее время это понятие, – наука об измерениях (более полное определение термина «метрология» приведено ниже в разделе «Термины и определения»).

Измерения выполнялись человечеством с незапамятных времен. Уже в древности проводились измерения времени, расстояния между поселениями, веса (массы) физических тел, площади земельных участков и т. д. Как правило, при этом использовались антропологические единицы измерений, т. е. единицы измерений, связанные с человеком и размерами его тела. Например, в России использовались следующие меры [10; 11; 23]:

1) *перст* – ширина указательного пальца (в метрической системе мер около 2 см);

2) *вершок* – ширина сложенных вместе двух пальцев, указательного и среднего (около 4,4 см);

3) *пядь малая* – расстояние между концами вытянутых большого и указательного пальцев руки (около 19 см);

4) *пядь великая* – от кончика мизинца до кончика большого пальца, растянутых по одной линии (от 22 до 23 см);

5) *косая сажень* – расстояние от носка левой ноги до конца пальцев правой руки, вытянутой по диагонали (от 216 до 248 см).

Антропологические единицы обладают очевидными недостатками (у разных людей разные «пяди», «вершки», «сажени» и т. д.). Для преодоления недостатка «чистых» антропологических единиц уже сравнительно давно стали использовать в качестве образцовых мер и эталонов деревянные сажени, медные фунты, мерные бутыли и т. д. Вещественные образцовые меры и эталоны не могли преодолеть всех недостатков измерений, основанных на антропологи-

ческих единицах. Требовался переход на принципиально новые единицы измерений, что и было сделано при создании метрической системы мер. Научное обоснование такого перехода обеспечила метрология.

Метрология как наука зародилась в конце XVIII века во времена Великой французской буржуазной революции 1789 г. Основоположники метрологии – Кулон, Лавуазье, Лагранж, Лаплас и другие известные ученые – предложили перейти от антропологических единиц к естественным единицам измерений (в дальнейшем получившим название естественнонаучных единиц). В основу естественных единиц измерений были положены такие единицы, как метр, килограмм и секунда, связанные с размерами Земли и с вращением ее вокруг своей оси. За единицу массы (единицу «веса» в первоначальной редакции) был принят килограмм, приравненный к массе («весу») воды определенного объема при заданной температуре. 7 мая 1795 г. Конвент принял закон о внедрении метрической системы мер во Франции. Фактически же это внедрение происходило длительное время и потребовало больших усилий.

Приведем первые определения основных единиц метрической системы мер:

1) *метр* – это одна сорокамиллионная часть земного меридиана, проходящего через город Париж.

2) *килограмм* – вес 1 дм^3 чистой воды при +4 ^{0}С.

3) *секунда* – это 1/86 400 часть солнечных суток.

Таким образом, от единиц, связанными с размерами тела человека, был сделан пере

Первые определения метрических мер измерения имели чисто академический (научный) вид (отсюда и название «естественно-научные единицы»), и их практическое использование было затруднено. Например, в определении килограмма есть нечеткое понятие «чистая вода». Это какая вода: из озера, из реки, из родника или как-то специально приготовленная? Кроме того, возникают трудности при воспроизведении объема 1 дм^3 и при поддержании температуры воды +4 ^{0}С, что требуется по приведенному определению килограмма. Для преодоления этих недостатков был сделан переход на материальное воспроизведе-

ние единиц измерений. Например, метр был воспроизведен в виде платиновой линейки, а затем в виде расстояния между штрихами, нанесенными на двутавровую балочку из сплава платины и иридия. Аналогично килограмм стал воспроизводиться в виде цилиндрической гири из сплава платины и иридия. Соответственно изменились определения единиц измерений, причем определение метра просуществовало до 1960 г., а определение килограмма (как массы международного прототипа килограмма) оказалось настолько удачным, что существует до сих пор. Более подробно единицы измерений рассмотрены ниже, в последующих разделах учебного пособия.

В России основоположником метрологии принято считать Дмитрия Ивановича Менделеева (1834–1907), хотя и до него проводились отдельные работы по метрологии и метрологическому обеспечению измерений. Д.И. Менделеев был разносторонним ученым. Он хорошо известен как химик и создатель периодической системы химических элементов. Кроме того, он занимался воздухоплаванием и даже летал на воздушном шаре. По заданию правительства разработал для русской армии бездымный порох. До этого в русской армии использовался дымный порох, малоэффективный и дающий много дыма (особенно при стрельбе из орудий большого калибра).

Кроме чисто научной деятельности, Д.И. Менделеев проводил большую организационную работу. В 1893 г. им была создана Главная палата мер и весов, являвшаяся, по существу, научно-исследовательским институтом метрологического профиля. В Англии аналогичная организация (Метрологическое отделение Национальной физической лаборатории) была создана в 1900 г., а в США – в 1901 г. (Национальное бюро стандартов).

Под руководством Д.И. Менделеева была проведена работа по сличению русской системы эталонов (аршин, сажень, фунт) с английскими и метрическими эталонами мер и весов. Была сделана попытка перейти на метрическую систему мер (метр, килограмм), но удалось добиться лишь ее факультативного применения.

Метрическая система мер как обязательная была официально признана лишь после Октябрьской революции 1917 года. 14 сентября 1918 г. был принят декрет Совнаркома «О введении Международной метрической системы мер и весов». Практически же это удалось сделать лишь через 9 лет – в 1927 г.

Для внедрения Международной метрической системы были созданы Палаты мер и весов во всех союзных республиках СССР и во многих крупных городах страны (в том числе и в Свердловске).

В дальнейшем Палаты мер и весов были преобразованы в Метрологические институты. Головным стал Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии (ВНИИМ) им. Д.И. Менделеева, преобразованный в настоящее время в Федеральное государственное унитарное предприятие «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» (г. Санкт-Петербург).

Организационную работу по метрологии и стандартизации до 2005 года возглавлял Госстандарт России. В 2005 году создано Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Ростехрегулирование), которое заменило Госстандарт.

В области научной метрологии головной организацией по-прежнему остается Федеральное государственное унитарное предприятие (ФГУП) «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева». В Екатеринбурге работу по научной метрологии проводит Уральский научно-исследовательский институт метрологии (УНИИМ).

Кроме того, в составе Минпромэнерго организован Департамент технического регулирования и метрологии, на который возложена разработка технических регламентов.

1.2. Термины и определения

Термины и определения, используемые в настоящем учебном пособии, соответствуют межгосударственным рекомендациям РМГ 29 – 99 [53], введенным с 01.01.2001 взамен ГОСТ 16263 – 70.

Приводимые ниже метрологические термины и их определения заимствованы также из словаря-справочника [26] и частично из периодических изданий в той части, в которой они не противоречат рекомендациям [117].

Метрология – это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Измерение – это совокупность операций по сравнению опытным путем измеряемой величины с некоторым ее значением, принятым за единицу измерения.

Единица измеряемой величины – это значение измеряемой величины, которому по определению присвоено числовое значение, равное 1.

Например, при измерении массы тела единицей измерения является «тело» с массой 1 килограмм (по определению килограмм равен массе международного прототипа килограмма); при измерении размеров комнаты шагами единицей измерения является 1 шаг.

Истинное значение величины – это значение величины, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую величину.

Действительное значение величины – это значение величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

В качестве действительного значения измеряемой величины принимаются номинальные значения эталонов, образцовых мер, стандартных образцов, образцовых средств измерений и т. п.

Результат измерения – это значение величины, полученное путем ее измерения.

Равноточные измерения – это ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений и в одних и тех же условиях.

Неравноточные измерения – это ряд измерений какой-либо величины, выполненных разными по точности средствами измерений и (или) в разных условиях.

Прежде чем обрабатывать ряд измерений, необходимо убедиться в том, что все измерения этого ряда являются равноточными.

Неравноточные измерения обрабатывают в целях получения результатов измерений только в том случае, когда невозможно получить ряд равноточных измерений.

Однократное измерение – это измерение, выполненное один раз.

Во многих случаях на практике выполняются именно однократные измерения. Например, измерение конкретного момента времени по часам проводится один раз, т. е. выполняется однократное измерение.

Для большей уверенности в получаемом результате одного измерения иногда недостаточно, поэтому выполняются два, три и более измерений одной и той же величины. В этом случае могут быть допущены выражения «двукратное измерение», «трехкратное измерение» и т. д.

Многократное измерение – это измерение одного и того же значения искомой величины, состоящее из ряда однократных измерений.

При многократных измерениях возникает вопрос, начиная с какого числа измерений их можно считать многократными. Строгого ответа на этот вопрос нет. Однако известно, что при числе измерений, равном четырем (и более), ряд измерений может быть обработан в соответствии с требованиями математической статистики. Это означает, что при четырех измерениях (и более) их можно считать многократными [26]. За результат многократных измерений одной и той же величины обычно принимают среднее арифметическое значение x, полученное по формуле (1.1) для равноточных измерений и по формуле (1.2) – для неравноточных измерений:

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \,, \tag{1.1}$$

$$\overline{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i \cdot P_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i}, \tag{1.2}$$

где x_i – результат i-го измерения;

n – число измерений;

P_i – весовой коэффициент i-го измерения.

Среднее квадратическое отклонение (СКО) – это значение величины, полученное по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \qquad (1.3)$$

где σ – СКО;

x_i – результат i-го измерения;

$\bar{x}$ – среднее арифметическое значение, полученное по формуле (1.1) или (1.2);

n – число измерений.

Среднее квадратическое отклонение (СКО) среднего арифметического значения ($\sigma_{\bar{x}}$) – это значение величины, полученное по формуле

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \qquad (1.4)$$

Отметим, что среднее квадратическое отклонение σ по формуле (1.3) характеризует разброс результатов измерений около среднего арифметического значения $\bar{x}$ (чем больше σ, тем больше результаты отдельных измерений отклоняются от $\bar{x}$). Среднее квадратическое отклонение среднего арифметического значения $\sigma_{\bar{x}}$ по формуле (1.4) характеризует разброс средних арифметических значений $\bar{x}_j$ около генерального среднего значения $\bar{\bar{x}}$ (чем больше $\sigma_{\bar{x}}$, тем больше $\bar{x}_j$ отклоняется от $\bar{\bar{x}}$; здесь $\bar{x}_j$ – среднее арифметическое значение j-й серии многократных измерений одной и той же величины; $\bar{\bar{x}}$ – генеральное среднее арифметическое значение по результатам всех серий многократных измерений одной и той же величины).

Прямое измерение – это измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных путем считывания с отчетных устройств используемых средств измерений.

Например, измерение массы на циферблатных весах, измерение температуры термометром, измерение длины с помощью линейных мер и т. д.

Косвенное измерение – это измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямому измерению.

Например, нахождение плотности однородного тела по его массе.

Рабочее средство измерений – это средство измерений (СИ), предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений. К рабочим СИ относят средства измерений, применяемые в научных целях, при контроле параметров продукции и технологических процессов, в сельском хозяйстве, в торговле, спорте и других видах деятельности, где необходимо получить значение той или иной физической величины.

Метрологическое средство измерений – это средство измерений (СИ), предназначенное для метрологических целей: воспроизведения единицы и (или) ее хранения или передачи размера единицы рабочим СИ. К метрологическим СИ относят эталоны, образцовые средства измерений (ОСИ), поверочные установки, стандартные образцы, средства сравнения (компараторы) и др.

Поверка средства измерений – это экспериментальное определение метрологических характеристик средства измерений и установление его пригодности к применению.

1.3. Задачи метрологии

К задачам метрологии относятся:

1) разработка и обоснование единиц измерений (единиц величин);
2) воспроизведение единиц измерений (единиц величин);
3) разработка, обоснование и аттестация методик выполнения измерений (МВИ);
4) аттестация средств измерений (СИ) по нормируемым метрологическим характеристикам;
5) стандартизация;
6) сертификация.

Разработка, обоснование и воспроизведение единиц измерений, а также аттестация МВИ и СИ подробно рассмотрены ниже, и в данном разделе учебного пособия эти задачи не рассматриваются.

Стандартизация и сертификация, строго говоря, к метрологии как науке об измерениях прямого отношения не имеют. Это самостоятельные дисциплины.

Стандартизация – это работа по установлению и применению норм и правил с целью упорядочить и оптимизировать деятельность в конкретной области (например, в области машиностроения, науки, экономики, торговли, транспорта и т. д.).

Сертификация – это подтверждение качества продукции или производства и их соответствия действующим стандартам и другим нормативно-техническим документам (НТД).

Хотя стандартизация и сертификация являются самостоятельными дисциплинами, они тесно «увязаны» с метрологией и опираются на нее. Часто трудно сказать, где заканчивается стандартизация и сертификация и начинается метрология, – настолько эти дисциплины тесно переплетены. В связи с этим стандартизация и сертификация отнесены к задачам метрологии (хотя это и является, как уже было сказано, несколько условным).

Деятельность в области стандартизации определяется принятыми в установленном порядке нормативными документами.

Нормативные документы, принятые в Российской Федерации:

1) **Законы Российской Федерации** (РФ).

2) **Указы Президента РФ**.

3) **Постановления Правительства РФ**.

Законы РФ, указы Президента и постановления Правительства обязательны к исполнению на всей территории РФ и на всех предприятиях, во всех организациях и учреждениях независимо от форм собственности.

4) **Государственные стандарты (ГОСТы)** – нормативные документы, обязательные к исполнению на всей территории РФ и во всех отраслях народного хозяйства. ГОСТы, введенные еще в СССР, действуют на всей территории

РФ до их официальной отмены и до замены на Государственные стандарты России (на ГОСТ Р).

5) **Отраслевые стандарты (ОСТы)** – нормативные документы, обязательные к исполнению на всей территории РФ в тех отраслях, к которым они относятся.

6) **Стандарты предприятий (СТП)** – нормативные документы, обязательные к исполнению на том предприятии, на котором они приняты и утверждены в установленном порядке.

7) **Технические условия (ТУ)** – технические документы, которым должны соответствовать те изделия, на которые данные ТУ распространяются.

8) **Руководящие документы (РД)** и **методические указания метрологических институтов (МИ)** носят рекомендательный характер и регламентируют деятельность в тех областях, на которые распространяются.

Примеры обозначения и наименования основных нормативных документов, используемых в настоящее время, приведены в конце учебного пособия в библиографическом списке [44–54].

Нормативных документов разного уровня насчитывается более 250 тысяч (в том числе около 25 тысяч ГОСТов, около 40 тысяч ОСТов и около 160 тысяч СТП и ТУ). Более точное число нормативных документов назвать затруднительно, так как они находятся в постоянном «движении»: часть нормативных документов регулярно отменяется, часть – вводится вновь, часть – видоизменяется и т. д.

В настоящее время намечаются серьезные преобразования в области стандартизации. Начало преобразований положено Законом РФ «О техническом регулировании», принятым в самом конце 2002 г. Основным нормативным документом по этому Закону становится технический регламент (ТР). В качестве ТР могут выступать соответствующие Законы РФ, указы Президента и постановления Правительства. ТР могут действовать и как самостоятельные обязательные нормативные документы, в которых приводятся ссылки на Законы, Указы, постановления, ГОСТы и другие нормативные документы. При этом

намечается отменить ОСТы, а часть ГОСТов перевести из обязательных в рекомендательные. Преобразования планируется проводить постепенно на протяжении нескольких лет. В течение всего переходного периода действует прежняя система стандартизации.

Кроме перечисленных выше нормативных документов (НД), все большее распространение получают следующие, относительно новые, НД.

1) **Межгосударственный стандарт СНГ** (обозначается ГОСТ, как и стандарт СССР) – принимается странами СНГ и становится обязательным после утверждения.

2) **Гармонизованные стандарты** – становятся обязательными после утверждения в качестве национального стандарта, требования которого соответствуют международным или региональным стандартам (обозначаются: ГОСТ Р ИСО; ГОСТ Р МЭК и т. д., где ИСО, МЭК и пр. – обозначение соответствующего международного стандарта).

3) **Рекомендации межгосударственные (РМГ)** – нормативный документ стран СНГ. Утверждается как рекомендательный или обязательный на территории РФ.

4) **Правила (ПР) и рекомендации (Р)** – нормативные документы. После утверждения могут иметь обязательный или рекомендательный статус.

Подробнее затронутые вопросы освещены в учебных пособиях [17–19]. Примеры обозначения стандартов приведены в библиографическом списке (см., например, [44–54]).

Следует отметить большую значимость для народного хозяйства нормативных документов, без которых фактически невозможно современное производство. Известно, например, шутливое высказывание, что стандарты для промышленности – то же, что воздух для человека. Есть воздух – и человек его не замечает, нет воздуха – и человек задыхается. Аналогично и со стандартами. Есть стандарты – и их не замечают, нет стандартов – и производство замирает.

1.4. Международная система единиц

1.4.1. Общие положения

Унификация единиц измерений, получившая с созданием метрической системы мощный импульс, в дальнейшем сменилась появлением и распространением многочисленных и разнообразных систем единиц. В начале XX века насчитывалось едва ли не два десятка различных систем единиц. Назовем некоторые из этих систем: СГС (сантиметр – грамм – секунда), электромагнитная система СГСМ, электростатическая система СГСЭ, практическая система МКС (метр – килограмм – секунда), система МКСА (метр – килограмм – секунда – ампер) и т. д. Проблема унификации единиц снова стала актуальной.

Вопрос о создании единой Международной системы единиц впервые был поднят еще в 1913 г. на V Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ), но практические работы в этой области начались лишь в середине XX века.

В 1948 г. на IX ГКМВ было рассмотрено предложение о принятии Международной практической системы с основными единицами – метром, килограммом, секундой и одной из практических электрических единиц.

В 1954 г. на X ГКМВ было решено, что Международная система должна быть универсальна, т. е. охватывать все области измерений, и в качестве ее основных единиц следует принять метр, килограмм, секунду, ампер, градус Кельвина и свечу (канделу).

Наконец, в 1960 г. XI ГКМВ приняла решение:

1) присвоить системе, основанной на шести основных единицах, наименование «Международная система единиц»;

2) установить международное сокращенное наименование этой системы «SI» (от начальных букв Sisteme International);

3) ввести таблицу приставок для образования кратных и дольных единиц.

Международная система продолжала совершенствоваться и развиваться. Так, была добавлена седьмая основная единица – моль (единица измерения количества вещества). Кроме того, наименование «градус Кельвина» было заме-

нено наименованием «кельвин» и дало новое определение единице измерения времени (секунде).

В русской транскрипции Международная система единиц сокращенно называется СИ. В Советском Союзе (СССР) Международная система единиц введена как обязательная с 1 января 1982 г., и с этой же даты действовал ГОСТ 8.417–81.ГСИ. Единицы физических величин, замененный в настоящее время на ГОСТ 8.417–2002 [49], введенный в действие с 1 сентября 2003 г.

Единицы СИ должны применяться во всей вновь разрабатываемой технической документации и в публикациях, а также в учебных процессах всех учебных заведений, в учебниках и в учебных пособиях. Оговорено применение и некоторых единиц, не входящих в СИ.

Стандарт не распространяется на единицы, применяемые в научных исследованиях и при публикациях их результатов, если в них не рассматриваются и не используются результаты измерений конкретных физических величин, а также на единицы величин, оцениваемых по условным шкалам (например, шкалы твердости Роквелла и Виккерса, светочувствительности фотоматериалов и др.).

В настоящее время Международную систему составляют следующие единицы величин:

1) семь основных (табл. 1.1);

2) производные единицы (табл. 1.2–1.4);

3) двадцать абсолютных и десять относительных внесистемных единиц, допускаемых к применению наравне с единицами СИ (табл. 1.5; 1.6);

4) восемь внесистемных единиц, временно допускаемых к применению (табл. 1.7).

1.4.2. Основные единицы

Основные единицы Международной системы СИ приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Основные единицы СИ

Величина		**Единица**			
Наименование	**Размерность**	**Наименование**	**Обозначение**		**Определение**
			международное	русское	
1	2	3	4	5	6
Длина	*L*	метр	m	м	Метр есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени 1/299 792 458 s [XVII ГКМВ (1983 г.), Резолюция 1]
Масса	*M*	килограмм	kg	кг	Килограмм есть единица массы, равная массе международного прототипа килограмма [I ГКМВ (1889 г.) и III ГКМВ (1901 г.)]
Время	*T*	секунда	s	с	Секунда есть время, равное 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 [XIII ГКМВ (1967 г.), Резолюция I]
Электрический ток (сила электрического тока)	*I*	ампер	A	А	Ампер есть сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 m один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 m силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ N [МКМВ (1946 г.), Резолюция 2, одобренная IX ГКМВ (1948 г.)]
Термодинамическая температура	Θ	кельвин	K	К	Кельвин есть единица термодинамической температуры, равная 1/273,16 части термодинамической температуры тройной точки воды [XIII ГКМВ (1967 г.), Резолюция 4]

Продолжение таблицы 1.1

Количество вещества	*N*	моль	mol	моль	Моль есть количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 kg. При применении моля структурные элементы должны быть специфицированы и могут быть атомами, молекулами, ионами, электронами и другими частицам или специфицированными группами частиц [XIV ГКМВ (1971 г.), Резолюция 3]
Сила света	*J*	кандела	cd	кд	Кандела есть сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Hz, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет1/683 W/sr [XVI ГКМВ(1979 г.), Резолюция 3]

Примечания

1. Кроме термодинамической температуры (обозначение T), допускается применять также температуру Цельсия (обозначение t), определяемую выражением $t = T–T_0$, где $T_0 = 273{,}15$ К. Термодинамическую температуру выражают в кельвинах, температуру Цельсия – в градусах Цельсия. По размеру градус Цельсия равен кельвину. Градус Цельсия – это специальное наименование, используемое в данном случае вместо наименования «кельвин».

2. Интервал или разность термодинамических температур выражают в кельвинах. Интервал или разность температур Цельсия допускается выражать как в кельвинах, так и в градусах Цельсия.

Обозначение Международной практической температуры в Международной температурной шкале 1990 г., если ее необходимо отличить от термодинамической температуры, образуют путем добавления к обозначению термодинамической температуры индекса «90» (например, T_{90} или t_{90}) [3].

1.4.3. Производные единицы

Примеры производных единиц СИ, образованных с использованием основных единиц СИ, приведены в табл. 1.2. Примеры производных единиц СИ, имеющих специальное название, приведены в табл. 1.3 и 1.4.

Таблица 1.2

Примеры производных единиц СИ, наименования которых образованы из наименований основных единиц

№ п/п	Измеряемая величина	Единица		
		Наименование	Обозначение	
			международное	русское
1	Площадь	квадратный метр	m^2	$м^2$
2	Скорость	метр в секунду	m/s	м/с
3	Ускорение	метр на секунду в квадрате	m/s^2	$м/с^2$
4	Плотность	килограмм на кубический метр	kg/m^3	$кг/м^3$
5	Плотность электрического тока	ампер на квадратный метр	A/m^2	$А/м^2$
6	Напряженность магнитного поля	ампер на метр	A/m	А/м
7	Молярная концентрация компонента	моль на кубический метр	mol/m^3	$моль/м^3$
8	Яркость	кандела на квадратный метр	cd/m^2	$кд/м^2$

Таблица 1.3

Примеры производных единиц СИ, имеющих специальные наименования

№ п/п	Измеряемая величина	Единица			Выражение через основные единицы СИ
		Наименование	Обозначение		
			международное	русское	
1	Частота	герц	Hz	Гц	s^{-1}
2	Сила, вес	ньютон	N	Н	$m \cdot kg \cdot s^{2}$
3	Давление	паскаль	Pa	Па	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{2}$
4	Количество электричества	кулон	C	Кл	$s \cdot A$
5	Электрическое напряжение	вольт	V	В	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
6	Электрическая емкость	фарад	F	Ф	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
7	Электрическое сопротивление	ом	Ω	Ом	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$

Продолжение таблицы 1.3

8	Индуктивность	генри	H	Гн	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
9	Плоский угол	радиан	rad	рад	$m \cdot m^{-1} = 1$
10	Телесный угол	стерадиан	sr	ср	$m^2 \cdot m^{-2} = 1$

Таблица 1.4

Примеры производных единиц СИ, наименования которых образованы с использованием наименований, приведенных в табл. 1.3

№ п/п	Измеряемая величина	Единица			Выражение через основные единицы СИ
		Наименование	Обозначение		
			международное	русское	
1	Момент силы	ньютон-метр	N·m	Н·м	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
2	Динамическая вязкость	паскаль-секунда	Pa·s	Па·с	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
3	Плотность заряда (пространственная)	кулон на кубический метр	C/m^3	$Кл/м^3$	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
4	Электрическое смещение	кулон на квадратный метр	C/m^2	$Кл/м^2$	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
5	Напряженность электрического поля	вольт на метр	V/m	В/м	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
6	Диэлектрическая проницаемость	фарад на метр	F/m	Ф/м	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^{-2}$
7	Магнитная проницаемость	генри на метр	H/m	Гн/м	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$

1.4.4. Внесистемные единицы

Внесистемные единицы, постоянно допускаемые к применению наравне с единицами СИ, приведены в табл. 1.5 и 1.6

Таблица 1.5

Абсолютные внесистемные единицы, постоянно допускаемые к применению наравне с единицами СИ

№ п/п	Наименование измеряемой величины	Единица				
		Наименование единицы	Обозначение		Соотношение с единицей СИ	Область применения
			международное	русское		
1	Масса	тонна	T	Т	$1\cdot10^{3}$ kg	Все области
		атомная единица массы	U	а.е.м.	$1{,}660502\cdot10^{-27}$ kg	Атомная физика
2	Время	минута	Min	мин	60 s	Все области
		час	*H*	ч	3600 s	
		сутки	*D*	сут	86400 s	
3	Плоский угол	градус	...°	...°	(π/180) rad	Все области
		минута	...'	...'	(π/10800) rad	
		секунда	..."	... "	(π/648000) rad	
		град (гон)	Доп	град	(π/200) rad	Геодезия
4	Объем, вместимость	литр	*L*	л	$1\cdot10^{-3}$ m^3	Все области
5	Длина	астрономическая единица	*U*a	а.е.	$1{,}49598\cdot10^{11}$ m	Астрономия
		световой год	*L*y	св.год	$9{,}4605\cdot10^{15}$ m	
		парсек	*P*c	пк	$3{,}0857\cdot10^{16}$ m	
6	Оптическая сила	диоптрия	-	дптр	1 m^{-1}	Оптика
7	Площадь	гектар	Ha	га	$1\cdot10^{4}$ m^2	Сельское хозяйство
8	Энергия	электрон-вольт	*eV*	эВ	$1{,}60218\cdot10^{-19}$ j	Физика
		киловатт-час	*kW·h*	кВт·ч	$3{,}6\cdot10^{6}$ j	Для счетчиков электрической энергии
9	Полная мощность	вольт-ампер	*V·A*	В·А		Электротехника

Продолжение таблицы 1.5.

10	Реактивная мощность	вар	*V*az	вар		Электротехника
11	Электрический заряд; количество электричества	ампер-час	*A·h*	А·ч	$3{,}6 \cdot 10^3$ С	Электротехника

Примечания

1. Наименования и обозначения единиц времени (минута, час, сутки), плоского угла (градус, минута, секунда), астрономической единицы, диоптрии и атомной единицы массы не допускается применять с приставками.

2. Допускается также применять другие единицы времени, получившие широкое распространение, например неделя, месяц, год, век, тысячелетие.

3. Обозначения единиц плоского угла пишут над строкой.

4. Единицу объема «литр» не рекомендуется применять при точных измерениях (например, вместо 1l следует применять $1 \cdot 10^{-3}$ m^3 = 1 $дм^3$). При возможности смещения обозначения «l» («эль») с цифрой «1» допускается использовать обозначение «L».

Таблица 1.6

Внесистемные относительные и логарифмические величины и их единицы, постоянно допускаемые к применению наравне с единицами СИ

№ п/п	Наименование измеряемой величины	Наименование единицы	Обозначение		Значение
			международное	русское	
1	Относительная величина; КПД; относительное удлинение; относительная плотность; деформация; относительная диэлектрическая и магнитная проницаемости; магнитная восприимчивость и т. п.	единица	*1*	*1*	1
		процент	%	%	$1 \cdot 10^{-2}$
		промилле	‰	‰	$1 \cdot 10^{-3}$
		миллионная доля	ppm	млн$^{-1}$	$1 \cdot 10^{-6}$
2	Логарифмическая величина; уровень звукового давления; усиление; ослабление и т. п.	бел	B	Б	1 B = $\lg(P_2/P_1)$ при $P_2 = 10P_1$ 1 B = $2\lg(F_2/F_1)$ при $F_2 = \sqrt{10}\,F_1$, где P_1, P_2 – мощность, энергия и т. п.; F_1, F_2 – напряжение, сила тока и т. п.
		децибел	dB	дБ	0,1 B
3	Логарифмическая величина; уровень громкости	фон	phon	фон	1 фон равен уровню громкости звука, для которого уровень звукового давления равногромкого с ним звука частотой 1000 Hz равен 1dB (1phon = 1dB при f = 1000 Hz)
4	Логарифмическая величина; частотный интервал	октава	–	окт	1 октава равна $\log_2(f_2/f_1)$ при $(f_2/f_1) = 2$

Продолжение таблицы 1.6

		декада	–	дек	1 декада равна $\lg(f_2/f_1)$ при $(f_2/f_1) = 10$, где f_2, f_1 – частоты
5	Логарифмическая величина (натуральный логарифм безразмерного отношения физической величины к одноименной физической величине, принимаемой за исходную)	непер	Np	Нп	1 Np = 0,8686…B 1 Np = 8,686… dB

Внесистемные единицы временно (до их отмены), допускаемые к применению наравне с единицами, СИ приведены в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Внесистемные единицы, временно допускаемые к применению наравне с единицами СИ

п/п	**Измеряемая величина**	**Наименование единицы**	**Обозначение**		**Соотношение с единицей СИ**	**Применение**
			международное	**русское**		
1	Длина	морская миля	n mile	миля	1852 m	В морской навигации
2	Масса	карат	–	кар	$2\cdot10^{-4}$kg	Для драгоценных камней и жемчуга
3	Линейная плотность	текс	tex	текс	$1\cdot10^{-6}$kg/m	В текстильной промышленности
4	Скорость	узел	kn	уз	0,514 m/s	В морской навигации
5	Частота вращения	оборот в секунду	r/s	об/с	1 s^{-1}	Электротехника
		оборот в минуту	r/min	об/мин	0,016 s^{-1}	
6	Давление	бар	bar	бар	$1\cdot10^5$ Pa	Физика
7	Ускорение	гал	Gal	Гал	0,01 m/s^2	Гравиметрия

1.4.5. Кратные и дольные единицы

Десятичные кратные и дольные единицы, а также их наименования и обозначения следует образовывать с помощью множителей и приставок, приведенных в табл. 1.8.

Присоединение к названию единицы двух и более приставок подряд не допускается. Например, вместо наименования единицы *микромикрофарад* следует писать – *пикофарад*.

Приставку или ее обозначение следует писать слитно с наименованием единицы, к которой она присоединяется, или соответственно с ее обозначением.

Таблица 1.8

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований

Множитель	Наименование приставки	Обозначение		Множитель	Наименование приставки	Обозначение	
		международное	русское			международное	русское
10^{24}	иотта	Y	И	10^{-1}	деци	d	д
10^{21}	зетта	Z	З	10^{-2}	санти	c	с
10^{18}	экса	E	Э	10^{-3}	милли	m	м
10^{15}	пета	P	П	10^{-6}	микро	μ	мк
10^{12}	тера	T	Т	10^{-9}	нано	n	н
10^{9}	гига	G	Г	10^{-12}	пико	p	п
10^{6}	мега	M	М	10^{-15}	фемто	f	ф
10^{3}	кило	k	к	10^{-18}	атто	a	а
10^{2}	гекто	h	г	10^{-21}	зепто	z	з
10^{1}	дека	da	да	10^{-24}	иокто	y	и

Примечания

1. Примеры использования дольных и кратных приставок: $5 \cdot 10^{3}$ В = 5 кВ; $7 \cdot 10^{-3}$ А = 7 мА; $6 \cdot 10^{6}$ Ом = 6 МОм; $6 \cdot 10^{-3}$ Ом = 6 мОм.

2. Между последней цифрой числа и обозначением оставляют пробел. Например: 100 кВт; 80 %; 20 ˚С; (100,0 ± 0,1) кг; (1/50) s или (1/50) с.

3. В связи с тем, что наименование основной единицы массы – килограмм – содержит приставку «кило», для образования дольных и кратных единиц массы используют дольную единицу массы – грамм и приставки присоединяют к слову «грамм», например миллиграмм (mg или мг) вместо микрокилограмм (mkg или мкг).

1.4.6. Единицы количества информации

Стандарт 8.417–2002 [116] содержит справочные приложения, в которые вошли единицы величин, нашедшие широкое применение, но не в полной мере отвечающие требованиям международной системы единиц СИ. Одними из таких величин являются единицы количества информации (табл. 1.9), приведенные в справочном прил. А [116].

Таблица 1.9

Единицы количества информации

Наименование величины	**Единица**				**Примечание**
	Наименование	**Обозначение**		**Значение**	
		международное	**русское**		
Количество информации	бит	bit	Бит	1	Бит – единица информации в двоичной системе счисления (двоичная единица информации)
	байт	B (byte)	Б (байт)	1 Б = 8 бит	

Примечания

1. В соответствии с международным стандартом МЭК 60027-2 [121] единицы «бит» и «байт» применяются с приставками СИ (раздел 1.3.4 и табл. 1.8).

2. Исторически сложилось так, что с наименованием «байт» некорректно (вместо $1000 = 10^3$ принято $1024 = 2^{10}$) используют приставки СИ: 1 Кбайт = 1024 байт, 1 Мбайт = 1024 Кбайт, 1 Гбайт = 1024 Мбайт и т. д. При этом обозначение Кбайт начинают с прописной (большой) буквы «К» в отличие от строчной (малой) буквы «к» для обозначения множителя 10^3.

1.4.7. Достоинства Международной системы единиц

В заключение отметим ряд достоинств Международной системы единиц (СИ).

СИ – универсальна. Она охватывает почти все области физических явлений и почти все отрасли народного хозяйства.

Построение СИ отвечает современному уровню метрологии – оптимальный выбор основных единиц и, в частности, их числа и размеров, согласован-

ность (когерентность) производных единиц, образование кратных и дольных единиц посредством десятичных приставок и некоторые другие положения.

Международной системе присуща достаточная гибкость. Она допускает применение и некоторого числа внесистемных единиц. Это живая и развивающаяся система. Так, например, число основных единиц сравнительно недавно увеличено с шести до семи и может быть еще увеличено, если это будет необходимо для охвата какой-либо дополнительной области явлений. В будущем не исключено также смягчение некоторых действующих в СИ регламентирующих правил.

Международная система призвана стать повсеместно применяемой единственной системой единиц физических величин. Унификация единиц представляет давно назревшую необходимость. Уже сейчас СИ принята в большинстве стран мира и сделала ненужным многочисленные системы единиц, котировавшиеся еще несколько десятилетий назад.

Международная система единиц признана многими влиятельными международными организациями, включая Организацию Объединенных Наций (ООН). Среди признавших СИ – Международная организация по стандартам (ИСО), Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ), Международная электротехническая комиссия (МЭК), Международный союз фундаментальной и прикладной физики и др. [23; 24–26].

2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

2.1. Общие положения

На практике измерение той или иной величины проводят обычно один раз. Имеет ли ценность такое измерение и какова его погрешность? На первую часть вопроса ответ должен быть положительным, т. е. даже единичное измерение имеет определенную ценность. На вторую часть вопроса ответ будет неоднозначным. Имея паспорт прибора или результаты его исследования, невозможно сказать, какова погрешность единичного измерения. Можно лишь сказать, что она не более некоторой величины, определяемой классом точности

этого прибора. Например, классу 0,05 соответствует погрешность не более ±0,05 % от верхнего предела шкалы, классу 0,02 соответствует погрешность не более ±0,02 % от верхнего предела шкалы и т. д. Отметим, что все сказанное правомерно, если методические и другие погрешности малы и ими можно пренебречь. Такое положение, когда известна лишь верхняя возможная граница погрешности, обычно допустимо и вполне приемлемо при проведении практических измерений. Если же этого недостаточно, то каждый раз необходимо проводить специальное исследование.

Целью такого исследования, как правило, бывает определение погрешности результата измерения и разделение этой погрешности на систематическую и случайную составляющие.

Кроме того, в ходе измерений могут появляться промахи (из-за которых появляются грубые погрешности), вызванные неверными действиями оператора или неисправностью измерительных устройств. Выявление и исключение промахов также является составной частью исследования.

Систематические и случайные погрешности в малой степени всегда присутствуют в самых точных измерениях. Появления грубых погрешностей почти всегда можно избежать, и их не следует допускать в качественной работе.

Систематические погрешности присущи измерительной системе и вызываются, как правило, рядом причин. Погрешность, вызванная какой-либо одной причиной, имеет один знак. Погрешности же, вызванные несколькими причинами, могут компенсировать друг друга. Систематические погрешности могут быть обусловлены используемым прибором, ошибочными действиями оператора, методом измерений, воздействием окружающей среды и т. д.

Случайные погрешности, получаемые при одинаковых или почти одинаковых условиях, обусловливаются механическими сотрясениями, случайными колебаниями температуры, вибрациями, помехами и т. д. В силу вероятностного характера случайных погрешностей они могут быть оценены статистическими методами. Некоторые из наиболее общих методов будут рассмотрены ниже.

Рассмотренные типы погрешностей (систематические и случайные) можно проиллюстрировать следующим примером (рис. 2.1).

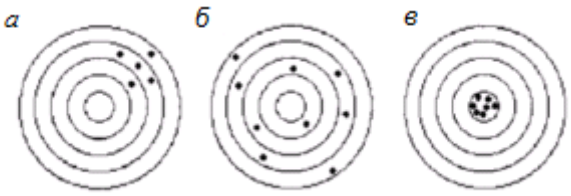


Рис. 2.1. Мишени, иллюстрирующие стрельбу с систематической погрешностью (*а*), со случайной погрешностью (*б*), с пренебрежимо малыми погрешностями (*в*)

Три человека делают по n выстрелов в мишень. Попадания первого стрелка оказались выше и правее «яблочка» (см. рис. 2.1, *а*). Отклонение среднего попадания от «яблочка» представляет собой систематическую погрешность. Эта погрешность могла быть вызвана неисправным прицелом, ветром, неправильным положением винтовки и т. д. Независимо от причины, такую погрешность можно избежать или сделать на нее поправку регулировкой прицела.

Второй стрелок разбросал свои выстрелы по всему полю мишени (см. рис. 2.1, *б*). В этом случае выстрелы свободны от систематической погрешности (среднее попадание в центре «яблочка»), но имеют большие случайные погрешности. Эти погрешности могли быть вызваны порывами ветра, плохими патронами, низкой квалификацией стрелка и т. д. Независимо от причины, избежать такие погрешности введением поправки невозможно. Эти погрешности можно лишь учесть и описать статистическими методами.

Третий стрелок сделал все выстрелы точно в центр мишени (см. рис. 2.1, *в*). Этот случай представляет собой точную стрельбу, в которой отсутствуют систематические погрешности, промахи и имеется незначительная случайная погрешность.

Поскольку случайные погрешности имеют вероятностный характер, то они могут быть описаны как случайные величины. В связи с этим, прежде чем перейти к изучению случайных погрешностей и методов их определения, напомним кратко основные характеристики случайных величин.

Случайной величиной будем называть такую величину, которая в результате опыта может принимать различные (случайные) числовые значения.

Различают случайные величины дискретные и непрерывные в зависимости от того, принимает случайная величина только определенные дискретные значения или может принимать любые значения в заданном интервале (или интервалах).

Случайные величины характеризуются законами распределения. При этом различают два вида законов: интегральный и дифференциальный.

Интегральный закон распределения или *интегральная функция распределения случайной величины* $F(x)$ характеризует вероятность события того, что конкретная реализация случайной величины X будет принимать значения, меньшие некоторой текущей величины x:

$$F(x) = P[X<x]. \tag{2.1}$$

Интегральный закон распределения – это неубывающая функция, которая при значении $x = -\infty$ равна нулю, а при $x = +\infty$ равна единице (т. е. $F(-\infty) = 0$, $F(+\infty) = 1$).

Интегральная функция распределения – самая универсальная характеристика случайной величины. Она существует для всех случайных величин, как дискретных, так и непрерывных, и полностью представляет случайную величину с вероятностной точки зрения.

Для непрерывной случайной величины с непрерывной и дифференцируемой функцией распределения можно найти *дифференциальный закон распределения* $f(x)$, выраженный как

$$f(x) = F'(x). \tag{2.2}$$

Эта функция называется также *плотностью распределения вероятности непрерывной случайной величины*. Функция $f(x)$ неотрицательна и подчиняется условию

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \cdot dx = 1. \tag{2.3}$$

2.2. Нормальный закон распределения

Плотность вероятностей при нормальном законе распределения случайной величины *x* описывается соотношением

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_0 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\bar{x}_0)^2}{2\cdot\sigma_0^2}}, \qquad (2.4)$$

где σ_0 – среднее квадратическое отклонение (СКО);

$\bar{x}_0$ – математическое ожидание.

Отметим, что объем выборки ограничен и вместо σ_0 и $\bar{x}_0$ (σ_0 и $\bar{x}_0$ соответствуют числу измерений $n\to\infty$) на практике используются оценки СКО и среднего арифметического значения (соответственно σ и $\bar{x}$).

График функции *f*(*x*) приведен на рис. 2.2. При изменении $\bar{x}_0$ и постоянстве СКО вся кривая распределения плотности вероятностей перемещается вдоль оси абсцисс, не изменяя своей формы (рис. 2.2, *а*, кривые 1, 2, 3).

Параметр σ_0 характеризует форму кривой распределения плотности вероятностей и является количественным показателем степени рассеивания случайных величин около их математического ожидания. При уменьшении σ_0 и неизменности $\bar{x}_0$ кривая распределения вытягивается вдоль оси ординат, а при увеличении – становится более плоской и растягивается вдоль оси абсцисс (рис. 2.2, *б*, кривые 1, 2, 3).

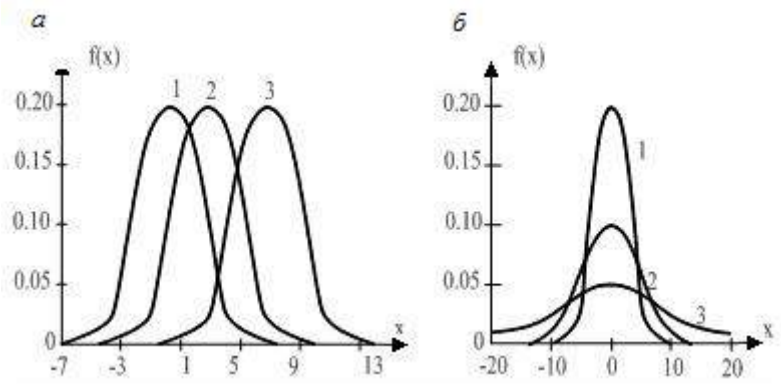


Рис. 2.2. Влияние параметров $\bar{x}_0$ (*а*) и σ_0(*б*) на вид функции *f*(*x*)

Интегральная функция распределения *F(x)* (для нормального закона) описывается соотношением

$$F(x) = \frac{1}{\sigma_0 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{(x-\bar{x}_0)^2}{2\sigma_0^2}} dx, \qquad (2.5)$$

где x, σ_0, $\bar{x}_0$ – определены выше.

Интеграл, стоящий в правой части уравнения, не может быть сведен к элементарным функциям в конечном виде, однако может быть выражен через *функцию Лапласа* Ф(Т), называемую также *интегралом вероятности*:

$$F(x) = \frac{1}{2}[1 + \Phi(\mathrm{T})], \qquad (2.6)$$

где

$$\Phi(\mathrm{T}) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{0}^{\mathrm{T}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \qquad (2.7)$$

$$\mathrm{T} = \frac{\mathrm{X} - x_0}{\sigma_0}, \qquad (2.8)$$

$$t = \frac{x - x_0}{\sigma_0}. \qquad (2.9)$$

Интеграл вероятности Ф(Т) табулирован, и его численные значения приведены табл. П.1.1, а на рис. 2.3 приведен график функции Ф(Т).

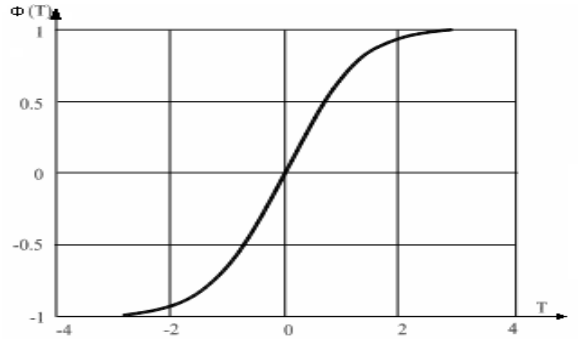


Рис. 2.3. Интегральная функция Ф(Т) для нормального закона распределения

Интеграл вероятности Ф(T) – монотонная функция, обладающая следующими свойствами:

$$\Phi(-T) = -\Phi(T), \qquad (2.10)$$

$$\Phi(+\infty) = 1, \qquad (2.11)$$

$$P(T) = \Phi(-T < t < +T). \qquad (2.12)$$

Соотношение (2.12) означает, что с вероятностью P(T) случайная величина t не выйдет за пределы интервала $\pm T$. В теории погрешностей интервал от $-T$ до $+T$ обычно называют доверительным интервалом, а соответствующую ему вероятность $P(T)$ – доверительной вероятностью. В дальнейшем доверительную вероятность будем обозначать P.

2.3. Распределение Стьюдента

Плотность вероятностей $\varphi(z)$ при распределении случайной величины z по закону Стьюдента описывается соотношением (2.13). Отметим, что закон распределения Стьюдента часто называют *t-распределением*, а величину $\varphi(z)$ – соответственно *плотностью вероятностей t-распределения*.

$$\varphi(z)=\frac{\Gamma(n/2)}{\sqrt{\pi(n-1)}\cdot\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)}\cdot\left(1+\frac{z^2}{n-1}\right)^{-\frac{n}{2}}, \qquad (2.13)$$

где $\Gamma(n)$ – гамма-функция;

n – число случайных величин (аргумент).

$$\Gamma(n)=\int_0^{\infty}U^{n-1}e^{-U}dt\,. \qquad (2.14)$$

Приведенные в математических справочниках (см., например, [30]) таблицы значений гамма-функции обычно охватывают диапазон изменения аргумента n от 1 до 2, и там же дается порядок определения гамма-функции для других значений аргумента.

На рис. 2.4 приведены графики функции $\varphi(z)$ для различных значений n. Кривые симметричны относительно оси ординат и по форме напоминают кривую нормального распределения, к которой они стремятся в пределе при $n\to\infty$. Площадь между каждой кривой и осью абсцисс при изменении аргумента от $-\infty$ до $+\infty$ равняется 1, т. е. вероятность попадания случайной величины z в бесконечно большой интервал равна единице.

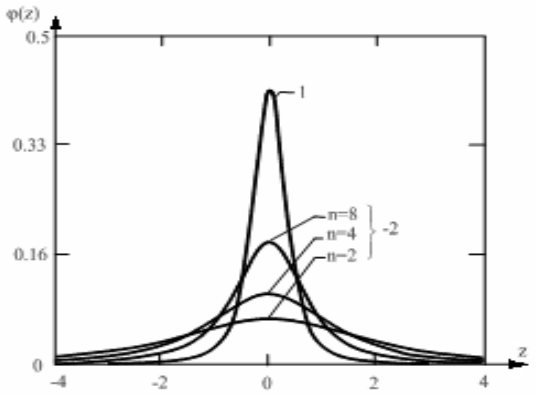


Рис. 2.4. Дифференциальная функция φ(z) для различных значений n:
1 – нормальный закон распределения; 2 – закон распределения Стьюдента;
n – число измерений

Для оценки вероятности попадания случайной величины *z* в границы заданного доверительного интервала ±*t* с доверительной вероятностью *P* необходимо проинтегрировать функцию φ(*z*) в заданных пределах:

$$P = \varphi(-t < z < +t) = \int_{-t}^{+t} \varphi(z)dz = 2 \cdot \int_{0}^{+t} \varphi(z)dz \ . \qquad (2.15)$$

Последняя форма записи интеграла с заменой пределов сделана из допущения, что функция φ(*z*) симметрична относительно начала координат.

Обычно на практике по заданной доверительной вероятности *P* и по заданному числу измерений *n* находят доверительный интервал ±*t*.

Численные значения *t*, носящие название *коэффициентов Стьюдента*, табулированы для конкретных значений *P* и *n* и приводятся в справочниках. Аналогичная таблица помещена в табл. П.1.2.

2.4. Распределение χ^2

Плотность вероятностей ψ(*v*) случайных величин *v*, подчиняющихся закону распределения χ^2, описывается соотношением

$$\psi(v) = \frac{v^{m-1}}{2^m \cdot \Gamma(m)} \cdot e^{-\frac{v}{2}}, \qquad (2.16)$$

где $m = \frac{n-1}{2}$; *n* – число случайных величин (аргумент); Γ – гамма-функции.

При больших значениях n максимум кривых уменьшается, смещается в область повышенных значений v, а сами кривые приобретают симметричный характер.

Площадь, заключенная между каждой из рассматриваемых кривых и осью абсцисс, при изменении аргумента от нуля до бесконечности есть величина постоянная и равная единице, т. е. вероятность попадания случайной величины v в бесконечно большой интервал равна единице.

Для оценки попадания случайной величины v в некоторый заданный интервал от V_1 до V_2 с доверительной вероятностью P необходимо проинтегрировать функцию $\psi(v)$ с учетом заданных пределов:

$$P = \psi(V_1 < v < V_2) = \int_{V_2}^{\infty} \psi(v)dv \quad . \tag{2.17}$$

Значения приведенных интегралов табулированы в зависимости от V и n (см., например, справочник [30]). При практическом использовании распределения χ^2 (применительно к погрешностям) удобнее пользоваться коэффициентами γ_1 и γ_2:

$$\gamma_1 = \sqrt{\frac{n-1}{V_1}} \ , \tag{2.18}$$

$$\gamma_2 = \sqrt{\frac{n-1}{V_2}} \quad . \tag{2.19}$$

Таблица коэффициентов γ_1 и γ_2 в зависимости от доверительной вероятности P и числа случайных величин (или числа измерений) n приведена в табл. П.1.3.

Методы практического использования рассмотренных законов распределения случайных величин (нормального, Стьюдента и χ^2) при оценке погрешностей и погрешности погрешностей приведены в последующих параграфах учебного пособия.

2.5. Классификация погрешностей

Один из возможных вариантов классификации погрешностей измерений представлен на рис. 2.5.

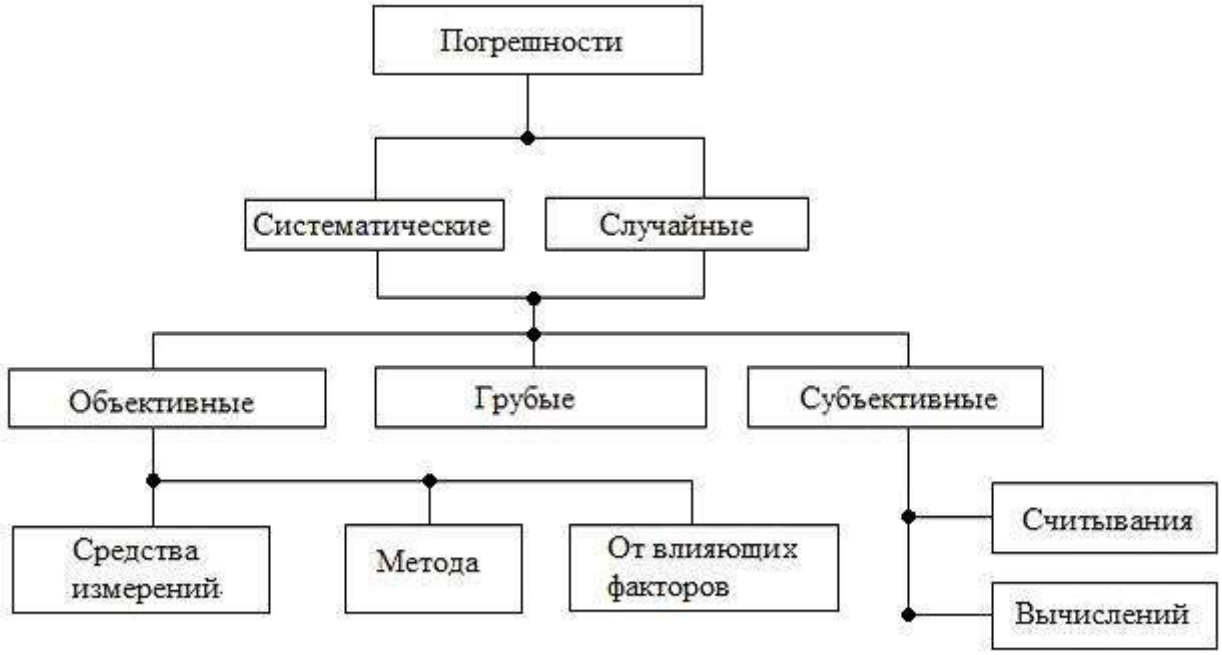


Рис. 2.5. Классификация погрешностей измерений

При описании погрешностей и их классификации использованы следующие термины.

Абсолютная погрешность измерения – это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Точность измерения – это качество измерения, отражающее близость его результатов к истинному значению измеряемой величины.

Высокая точность измерений соответствует малым погрешностям всех видов, как систематических, так и случайных.

Количественно точность может быть выражена обратной величиной модуля относительной погрешности. Например, если погрешность измерения равна 10^{-3}, то точность равна 10^{3}. Следует отметить, что термин «точность измерений» не нашел широкого применения на практике, и для «точностной» характеристики результатов измерений рекомендуется использовать термин «погрешность измерений».

Систематическая составляющая погрешности измерения – это составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

Случайная составляющая погрешности измерения – это составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

Объективные погрешности измерений – это составляющие погрешности измерений, не зависящие от действий оператора.

Субъективные погрешности измерений – это составляющие погрешности измерений, зависящие от действий оператора.

Грубые погрешности – это погрешности, существенно превышающие по своему значению оправдываемые объективными условиями измерений систематические и случайные погрешности.

Вместо термина «грубая погрешность» иногда используется термин «промах». В настоящем учебном пособии термин «промах» используется в несколько ином смысле. В дальнейшем под промахом будем подразумевать результат измерения, содержащий грубую погрешность.

Промахи возникают, как правило, из-за неверных действий оператора, но могут также появляться из-за неисправности аппаратуры. Во всех случаях промахи не являются характеристикой измерений, и их необходимо отбросить.

Инструментальные погрешности измерений – составляющая погрешности измерений, обусловленная погрешностями применяемых средств измерений (образцовых и рабочих).

Образцовые средства измерений – это средства, предназначенные для калибровки, аттестации или поверки других средств измерений и не используемые для проведения «рабочих» измерений.

Отметим, что под *рабочими средствами измерений* подразумеваются те средства, которые используются непосредственно «в работе» для проведения измерений.

Отметим, что на практике учитываются, как правило, только погрешности «рабочих» средств измерений. Погрешности образцовых средств малы, и ими обычно пренебрегают. Погрешности образцовых средств измерений учитываются при проведении метрологических работ (калибровка, поверка, аттестация) или при повышенных требованиях к результатам измерений.

Погрешности измерений от воздействия влияющих факторов – это составляющие погрешности измерений, являющиеся следствием неучтенного влияния на результаты измерений внешних факторов, например температуры, атмосферного давления, влажности воздуха, напряженности магнитного поля, вибрации и т. п. При проведении электрических измерений такими влияющими факторами могут быть термоЭДС и контактные сопротивления в измерительных цепях, полярность измеряемого тока или напряжения и т. д.

Методические погрешности – это погрешности, обусловленные используемым методом измерений и не зависящие от погрешности самих измерительных устройств.

Погрешности считывания – это погрешности, возникающие при считывании показаний со средств измерений. Обычно эти погрешности малы или вообще отсутствуют (например, при использовании цифровых приборов).

Погрешности вычислений – это погрешности, возникающие при подсчетах конечных результатов по данным проведенных измерений. Эти погрешности могут появиться, например, при проведении косвенных измерений из-за неверных действий оператора.

Выявление последних двух погрешностей и их выделение из суммарной погрешности относится к области субъективных психологических факторов и в настоящем руководстве подробно не рассматривается. Следует, однако, отметить, что эти погрешности косвенно учитываются при определении погрешностей измерений и входят в состав как их систематических, так и случайных частей.

2.6. Количественные характеристики погрешностей

Наиболее употребительны нижеследующие количественные характеристики погрешностей.

1. *Абсолютная погрешность* Δ, представляющая собой разность между результатом измерения x и истинным значением измеряемой величины x_0:

$$\Delta = x - x_0. \tag{2.20}$$

Могут быть также рассмотрены абсолютные систематические погрешности Θ, абсолютные случайные погрешности ε, абсолютные методические погрешности Θ_M и т. д. Определение каждой из этих погрешностей будет представлено ниже. Абсолютные погрешности имеют ту же размерность, что и измеряемая величина.

2. *Относительная погрешность* δ, представляющая собой отношение абсолютной погрешности Δ к истинному значению измеряемой величины x_0:

$$\delta = \frac{\Delta}{x_0} \cdot 100\% . \tag{2.21}$$

Соответственно рассматриваются относительные систематические, случайные, методические и т. д. погрешности. Обычно относительные погрешности выражаются в процентах, но могут выражаться и в относительных величинах.

Использование в знаменателе формулы (2.21) значения x_0 соответствует рекомендациям РМГ 29–99 [53]. Так как истинное значение x_0 обычно неизвестно, то вместо него может быть использовано действительное значение измеряемой величины $x_д$. Государственный стандарт ГОСТ 8.401–80 [45] допускает использовать в знаменателе формулы (2.21) также значение результата измерения x (вместо x_0 или $x_д$). На практике значение x используется в тех случаях, когда неизвестно истинное значение измеряемой величины x_0 и заменяющее его действительное значение $x_д$.

3. *Приведенная погрешность* средств измерения γ, представляющая собой отношение абсолютной погрешности Δ к нормирующему значению x_N:

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_N} \cdot 100\% \quad . \qquad (2.22)$$

Обычно $x_N = x_k$, где x_k – верхний предел шкалы (при этом нулевое значение прибора должно быть в начале шкалы).

Нормирующее значение x_N следует устанавливать равным большему из пределов измерений используемого прибора или равным большему из модулей пределов измерений, если нулевое значение находится внутри диапазона измерений.

Для электроизмерительных приборов нормирующее значение допускается устанавливать равным сумме модулей пределов измерений.

Для средств измерений физических величин, имеющих шкалу с условным нулем, нормирующее значение устанавливают равным модулю разности пределов измерений (более подробно см. ГОСТ 8.401–80 [45]).

Приведенные погрешности используются для характеристики точностных свойств только средств измерений (такое понятие, как приведенная погрешность результата измерения, не используется). Могут быть рассмотрены приведенные систематические и случайные составляющие погрешности средств измерений. Приведенные погрешности выражаются обычно в процентах, но могут выражаться и в относительных величинах.

В заключение отметим, что при правильно организованных измерениях грубые погрешности должны отсутствовать. Погрешности коммутационные, от влияния факторов и методические должны быть малыми по сравнению с инструментальными погрешностями. В этом случае определяющими становятся инструментальные погрешности (или, как их еще называют, – погрешности средств измерений). Именно этим погрешностям посвящены три последующих главы учебного пособия.

Вместе с тем погрешность является важной, но не единственной характеристикой средств измерений (СИ). В силу этого ниже рассмотрены и другие характеристики СИ, нормируемые стандартами [44, 45 47].

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

3.1. Общие положения

Различают метрологические и неметрологические характеристики средств измерений (СИ).

Метрологические характеристики – это характеристики свойств средств измерений, влияющие на результаты измерений и на их погрешности. Нормируются метрологические характеристики СИ Государственными стандартами ГОСТ 8.009–84 [44] и ГОСТ 8.508–84 [47], а также методическими указаниями РД 50–453–84 [53]. Для каждого типа средств измерений устанавливаются свои метрологические характеристики.

Метрологические характеристики, устанавливаемые нормативными документами, называются *нормируемыми метрологическими характеристиками*, а определяемые – *экспериментально-действительными метрологическими характеристиками*.

Неметрологические характеристики – это характеристики свойств средств измерений, не оказывающие прямого (непосредственного) влияния на результаты измерений и на их погрешности. К неметрологическим характеристикам СИ относятся, например, следующие: геометрические размеры и масса средства измерения, его цвет, наличие (или отсутствие) переносных ручек.

Ниже описываются нормируемые метрологические характеристики СИ. Для наглядности на рис. 3.1 приведена схема, позволяющая пояснить и оценить искомые характеристики.

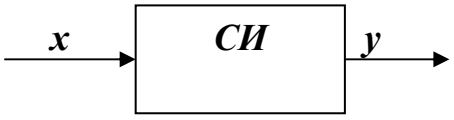


Рис. 3.1 Схема эксперимента:
СИ – средство измерения; x – измеряемая величина
(входная величина; входной сигнал); y – показание средства измерения
(выходная величина, выходной сигнал)

Различают статические и динамические свойства средств измерения. Статистические свойства средств измерения проявляются при измерении неизменных во времени величин или при измерении установившихся периодических

процессов. Динамические свойства средств измерения проявляются при измерении изменяющихся во времени величин или при измерении неустановившихся периодических процессов. Статистические и динамические свойства средств измерения описывают соответственно статистические и динамические характеристики.

3.2. Статические характеристики

Статическая характеристика преобразования (функция преобразования) – функциональная зависимость между входной «*x*» и выходной «*y*» величинами:

$$y = f(x). \tag{3.1}$$

Эта зависимость может выражать некоторый закон (или законы), которому подчиняется явление, положенное в основу работы средства измерения (СИ). Иногда выходная величина зависит не только от измеряемой величины *x*, но и от ряда других воздействующих на СИ факторов z_1, z_2, …z_n, являющихся помехами и искажающих результат измерения. В этом случае

$$y = f(x, z_1, z_2, \ldots z_n). \tag{3.2}$$

Очевидно, что воздействие на СИ посторонних факторов z_1, z_2, …z_n необходимо устранить или уменьшить. Это достигается путем экранирования и изоляции СИ от воздействия помех, их компенсации, стабилизации и т. д.

Статические характеристики преобразования могут быть аналоговые и дискретные, без гистерезиса и с гистерезисом (рис. 3.2).

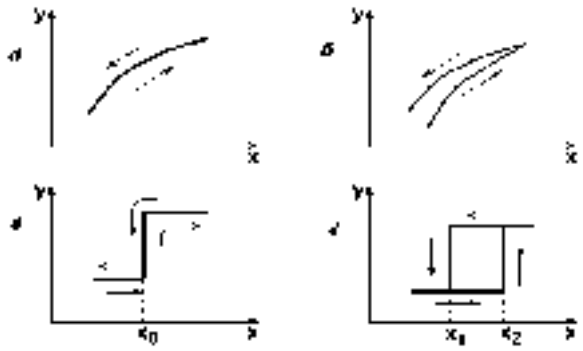


Рис. 3.2. Статические характеристики преобразования средств измерений:
а – аналоговая без гистерезиса; *б* – аналоговая с гистерезисом;
в – дискретная без гистерезиса; *г* – дискретная с гистерезисом;
x_0, x_1, x_2 – значения величины *x*, при которых величина *y* изменяется скачком

3.3. Динамические характеристики

Динамические характеристики определяют быстродействие средств измерения и могут быть представлены в различных видах: в виде переходных характеристик, передаточных функций, частотных характеристик и т. д.

Переходная характеристика – это зависимость выходной величины $y(t)$ при скачкообразном изменении измеряемой входной величины $x(t)$. Возможные типы переходных характеристик приведены на рис. 3.3.

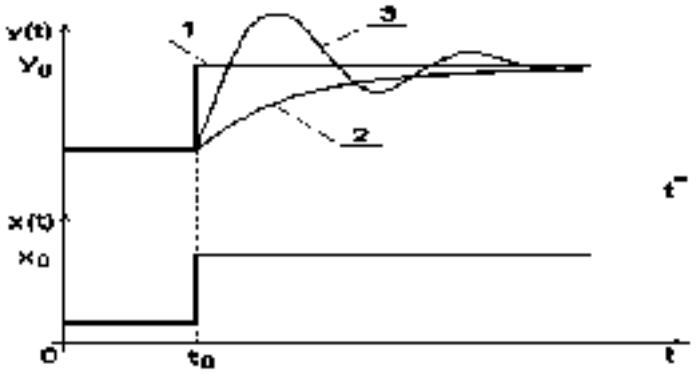


Рис. 3.3. Переходные характеристики средств измерения:
1 – идеальная (безынерционная) характеристика; 2 – апериодическая характеристика первого порядка; 3 – периодическая (колебательная) характеристика

Передаточная функция W(p) – это отношение изображений по Лапласу выходного и входного сигналов при нулевых начальных условиях.

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)}, \tag{3.3}$$

где $y(p)$ – изображение по Лапласу выходного сигнала;

$x(p)$ – изображение по Лапласу входного сигнала;

p – комплексная переменная величина.

$$y(p) = \int_0^\infty y(t) \cdot e^{-pt} \cdot dt, \tag{3.4}$$

$$x(p) = \int_0^\infty x(t) \cdot e^{-pt} \cdot dt, \tag{3.5}$$

где $y(t)$, $x(t)$ – оригиналы выходных и входных сигналов СИ.

Амплитудно-фазовая характеристика W(jω) формально может быть получена из передаточной функции $W(p)$ путем замены величины «p» на мнимую

величину «$j\omega$», где $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица; $\omega = 2\pi f$ – угловая частота; f – циклическая частота рассматриваемых сигналов.

Алгебраическая форма записи амплитудно-фазовой характеристики:

$$W(j\omega) = G(\omega) + jQ(\omega), \tag{3.6}$$

где $G(\omega)$ – вещественная часть; $Q(\omega)$ – мнимая часть.

По вещественным и мнимым частям может быть построен график амплитудно-фазовой характеристики (рис. 3.4).

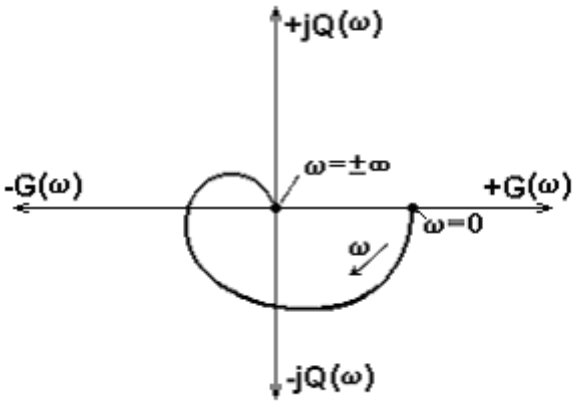


Рис. 3.4. Типичный вид амплитудно-фазовой характеристики средства измерения

Для описания динамических свойств отдельных средств измерений амплитудно-фазовые характеристики применяются сравнительно редко. Гораздо чаще эти характеристики используются при анализе устойчивости автоматических систем (в состав которых, как правило, входят и средства измерения, например датчики).

Показательная форма записи амплитудно-фазовой характеристики имеет вид

$$W(j\omega) = A(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)}, \tag{3.7}$$

где $A(\omega)$ – амплитудно-частотная характеристика;

$\varphi(\omega)$ – фазово-частотная характеристика.

Параметры амплитудно-фазовой характеристики в алгебраической и показательной формах записи связаны между собой соотношениями

$$A(\omega)=\sqrt{[G(\omega)]^2+[Q(\omega)]^2}\,, \tag{3.8}$$

$$\varphi(\omega)=\operatorname{arctg}\frac{Q(\omega)}{G(\omega)}\,. \tag{3.9}$$

В качестве примера ниже приведены динамические характеристики для апериодических динамических устройств первого порядка.

Передаточная функция для апериодических динамических устройств первого порядка имеет вид

$$W(p)=\frac{K}{Tp+1}, \tag{3.10}$$

где K – статический передаточный коэффициент; T – постоянная времени.

Отметим, что статический передаточный коэффициент определяется соотношением

$$K=\frac{\Delta y}{\Delta x}, \tag{3.11}$$

где Δy – приращение выходной величины; Δx – приращение входной величины.

Значение постоянной времени T может быть найдено в соответствии с рекомендациями, изложенными в литературе [27] и в настоящем учебном пособии (см. главу 6).

Кроме того, эта задача будет рассмотрена ниже при исследовании динамических свойств датчиков температуры.

Аналитические выражения, связывающие амплитудно-частотные и фазово-частотные характеристики с параметрами передаточной функции, имеют вид

$$A(\omega)=\frac{K}{\sqrt{\omega^2T^2+1}}\,, \tag{3.12}$$

$$\varphi(\omega)=\operatorname{arctg}\omega T. \tag{3.13}$$

Графики зависимостей (3.14) и (3.15) приведены на рис. 3.5.

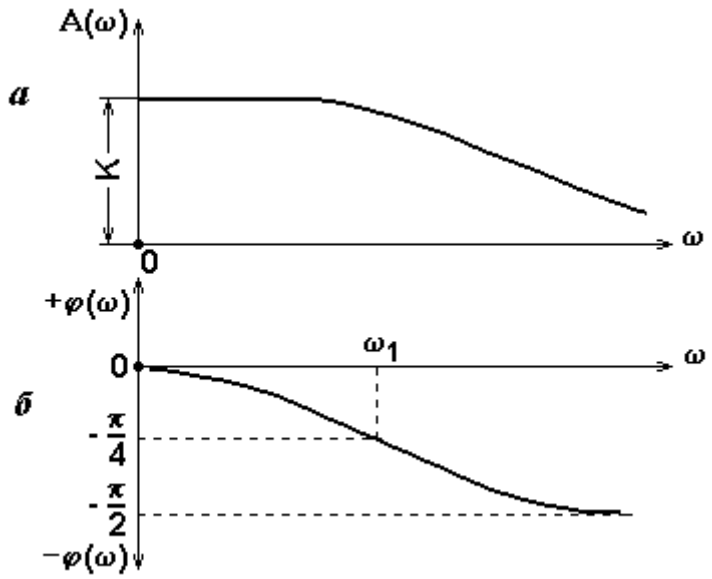


Рис. 3.5. Графики амплитудно-частотных (*а)* и фазово-частотных характеристик (*б)*

Приведенные характеристики (и их графики) свидетельствуют, что амплитуда сигнала на выходе средства измерения уменьшается с ростом частоты входного сигнала, а его фаза увеличивается (при $\omega\to\infty$ $\varphi(\omega)\to(-\pi/2)$ и $A(\omega)\to 0$).

3.4. Универсальные характеристики

К *универсальным* относятся характеристики средств измерений (СИ), которые правомерны как для статистических, так и для динамических режимов работы СИ.

Чувствительность СИ – отношение приращения выходной величины Δy к приращению входной величины Δx при $\Delta x\to 0$.

$$S = \lim_{\Delta x\to 0}\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{dy}{dx}, \tag{3.14}$$

где S – чувствительность средств измерения.

Для ориентировочной оценки чувствительности может быть использовано соотношение

$$S \approx \frac{\Delta y}{\Delta x}. \tag{3.15}$$

При нелинейной статической характеристике преобразования чувствительность зависит от x, а при линейной характеристике чувствительность постоянна и не зависит от измеряемой величины.

Чувствительность не следует смешивать с *порогом чувствительности*, под которым понимают наименьшее изменение входной величины, обнаруживаемое с помощью данного средства измерения. Порог чувствительности выражают в единицах входной величины.

Диапазон измерения – область значений измеряемой (входной) величины, для которой нормированы допускаемые наибольшие x_{max} и наименьшие x_{min} значения входных величин.

Кроме диапазона измерения «по входу», может быть указан диапазон измерения «по выходу» (от y_{max} до y_{min}).

Цена деления шкалы – разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы средства измерений.

Цена деления многозначной меры – разность значений величин, соответствующих двум соседним заданным размерам, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью.

3.5. Характеристики погрешностей

Погрешность средства измерений – это разность между показанием средства измерений и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины.

Для меры показанием является ее номинальное значение.

Поскольку истинное значение физической величины неизвестно, то на практике используют ее действительное значение.

Приведенное определение понятия «погрешность средства измерений» соответствует определению по РМГ 29–99 [53].

Классификация погрешностей средств измерений (СИ) приведена на рис. 3.6.

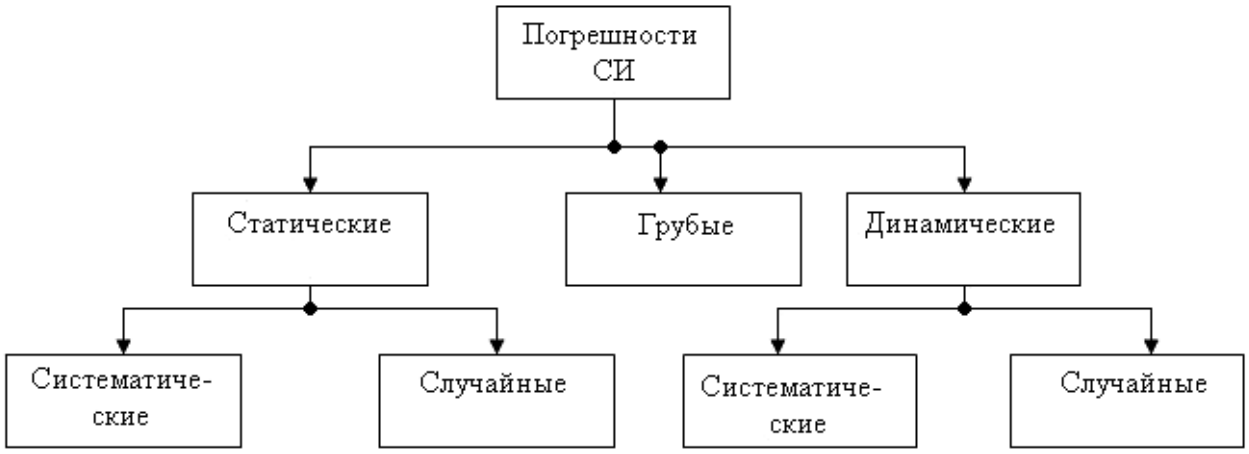


Рис. 3.6. Классификация погрешностей средств измерений

Статистические и динамические погрешности СИ могут быть определены следующим образом.

Статистические погрешности СИ – это погрешности средств измерений, возникающие при измерении неизменных во времени величин или установившихся периодических процессов. Статические погрешности детально рассмотрены в 4-й главе настоящего учебного пособия.

Динамические погрешности – это погрешности средств измерений, возникающие при измерении изменяющихся во времени величин или неустановившихся периодических процессов. Динамические погрешности детально рассмотрены в 6-й главе настоящего учебного пособия.

Погрешности грубые, систематические и случайные, а также количественные характеристики погрешностей (в том числе и погрешностей СИ) уже описаны во 2-й главе, в силу чего в данной главе учебного пособия не рассматриваются.

3.6. Классы точности

Класс точности средства измерений – это обобщенная характеристика средства измерений, выражаемая пределами его допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

Класс точности дает возможность судить о том, в каких пределах находится погрешность средств измерений этого класса, но не является непосредственным показателем погрешности измерений, выполняемых с помощью этих средств.

Класс точности может выражаться в форме абсолютных Δ, приведенных γ или относительных δ погрешностей в зависимости от характера изменения погрешностей в пределах диапазона измерений, а также от условий применения и назначения средств измерений конкретного вида (см. ГОСТ 8.401–80 [45]):

$$\Delta = \pm a\,, \tag{3.16}$$

$$\Delta = \pm\left(a + b \cdot x\right), \tag{3.17}$$

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_N} \cdot 100 \quad \% \le \pm p\,, \tag{3.18}$$

$$\delta = \frac{\Delta}{x} \cdot 100 \quad \% \le \pm p\,, \tag{3.19}$$

$$\delta = \frac{\Delta}{x} \cdot 100 \quad \% \le \pm \left[c + d\left(\left| \frac{x_k}{x} \right| - 1 \right) \right] \quad \% \lim_{x \to \infty}\,, \tag{3.20}$$

где x – значение измеряемой величины;

a, b – положительные числа, не зависящие от x;

$x_к$ – верхний предел шкалы;

x_N – нормирующее значение, выраженное в тех же единицах, что и Δ (обычно $x_N = x_к$);

p, q, c, d – отвлеченные положительные числа, выбираемые из ряда $1 \cdot 10^n$; $1{,}5 \cdot 10^n$; ($1{,}6 \cdot 10^n$); $2 \cdot 10^n$; $2{,}5 \cdot 10^n$; ($3 \cdot 10^n$); $4 \cdot 10^n$; $5 \cdot 10^n$; $6 \cdot 10^n$; (n = 1; 0; –1; –2; –3 и т. д.).

Значения, указанные в скобках, не используют для вновь разрабатываемых средств измерений.

В обоснованных случаях (см. ГОСТ 8.401–80 [45]) пределы допускаемой относительной основной погрешности устанавливают по более сложной формуле или в виде графика либо таблицы.

Допускаемые основные и дополнительные погрешности приводятся в технических описаниях и формулярах средств измерений.

Кроме того, на циферблаты, шкалы, щитки и корпуса средств измерений наносятся условные обозначения классов точности.

Например, могут быть нанесены обозначения в виде 1,5; (1,5) или 0,02/0,01, что означает следующее:

1,5 – предел допускаемой приведенной основной погрешности определяется по формуле (3.18) и не превосходит ±1,5 % от верхнего предела измерения для рассматриваемого прибора (или диапазона измерения);

(1,5) – предел допускаемой относительной основной погрешности определяется по формуле (3.19) и не превосходит ±1,5 % от значения измеряемой величины;

0,02/0,01 – предел допускаемой относительной основной погрешности определяется по формуле (3.20) и не превосходит $\pm\left[0{,}02+0{,}01\left(\left|\frac{x_k}{x}\right|-1\right)\right]$ % от значения измеряемой величины.

Правила построения и примеры обозначения классов точности приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Примеры построения и обозначения классов точности

Форма выражения погрешности	**Пример обозначения класса точности**	**Пределы допускаемой основной погрешности**	**Значение основной погрешности**
Абсолютная Δ	±0,1 мм	$\Delta = \pm 0{,}1$ мм	±0,1 мм
Относительная δ	(1,5)	$\delta = \pm 0{,}5$ %	$\pm 0{,}5$ % от «x»
Относительная δ	0,2/0,1	$\delta = \pm[0{,}2 + 0{,}1(\frac{x_K}{x} - 1)]$ %	$\pm\delta$ % от «x»
Приведенная γ	1,0	$\gamma = \pm 1{,}0$ %	$\pm 1{,}0$ % от «x_K»
Приведенная γ	2,5 (V)	$\gamma = \pm 2{,}5$ %	$\pm 2{,}5$ % от длины шкалы или ее части

В табл. 3.1 приняты следующие обозначения:

x – значение измеряемой величины или число делений, отсчитанных по шкале;

$x_К$ – верхний предел шкалы.

Тот или иной класс точности присваивается средству измерений по результатам оценки статистической погрешности, полученной в ходе специального метрологического исследования искомого средства измерения (СИ). Порядок оценки статистических погрешностей СИ рассмотрен ниже в главе 4 настоящего учебного пособия.

Отметим еще раз, что класс точности устанавливает пределы допускаемой основной погрешности средства измерения (СИ). Основная погрешность СИ – это погрешность средства измерения в нормальных условиях эксплуатации. Дополнительная погрешность СИ – это погрешность средства измерения в условиях эксплуатации отличных от нормальных (в пределах рабочих условий эксплуатации). Нормальные и рабочие условия эксплуатации оговариваются в технической документации на каждый конкретный тип средства измерения.

Например, для универсального вольтметра В7-34 предусмотрены следующие нормальные и рабочие условия эксплуатации (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Условия эксплуатации универсального вольтметра В7-34

Нормируемый параметр	**Условия эксплуатации**	
	Нормальные	**Рабочие**
Температура окружающего воздуха, ^{0}С(К)	От 18 до 22 (от 291 до 295)	От 5 до 40 (от 278 до 313)
Относительная влажность воздуха, %	65±15	До 95
Напряжение питающей сети, В	220,0±4,4	220±22
Частота питающей сети, Гц	50,0±0,5	50,0±0,5

Поверка средств измерений должна проводиться в нормальных условиях эксплуатации (см. табл. 3.2). Рабочие условия эксплуатации (см. табл. 3.2)

должны соблюдаться при практическом использовании средств измерений. Дополнительные погрешности, возникающие при отличии условий эксплуатации от нормальных, выражаются обычно в дольных или кратных частях от основной погрешности. Соотношения, используемые для оценки дополнительных погрешностей, приводятся в инструкциях по эксплуатации конкретных типов средств измерений. Например, для универсального вольтметра В7-34 погрешность измерения в рабочих условиях для диапазона от 5 до 40 ^{0}С вычисляется по формуле

$$\delta = \delta_0 \left[1 + 0{,}1 / \left(20 - t\right)\right], \qquad (3.21)$$

где δ – относительная дополнительная погрешность вольтметра в рабочих условиях, %;

δ_0 – относительная основная погрешность вольтметра, определяемая его классом точности, %;

t – температура окружающего воздуха, ^{0}С.

Формула (3.21) правомерна при всех режимах работы универсального вольтметра В7-34, за исключением измерения отношения двух постоянных напряжений.

4. СТАТИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

4.1. Общие положения

Для определения погрешностей средств измерений необходимо провести специальные исследования. При этом может быть использована одна из схем, приведенных на рис. 4.1. В первом случае (рис. 4.1, *а*) для генерирования значений x_0 может быть использован любой (не образцовый) генератор. Например, при исследовании вольтметра – любой источник ЭДС, значения которых могли бы изменяться в необходимых пределах. Измерение значения x_0 производится с помощью образцового средства и исследуемого средства измерений одновременно. Во втором случае (рис. 4.1, *б*) само образцовое средство измерений выступает в роли генератора сигналов. Например, при исследовании вольтметра – это источник образцовых ЭДС (образцовый калибратор напряжений); при исследовании датчиков давления – образцовый грузопоршневой манометр и т. д.

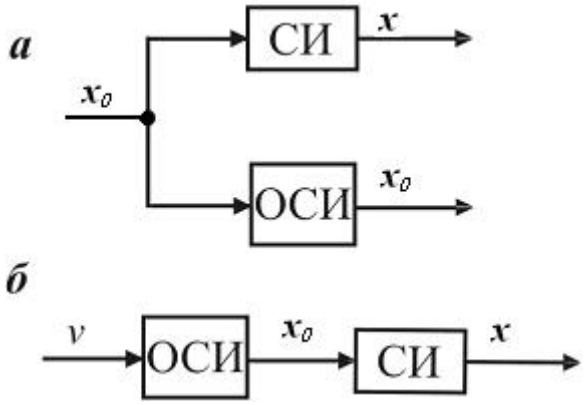


Рис. 4.1. Схемы исследования средств измерений:
СИ – исследуемое средство измерений; ОСИ – образцовое средство измерений; x_0 – "истинное" значение измеряемой величины; x – показания исследуемого средства измерений; v – управляющий сигнал, воздействующий на ОСИ

После выбора одной из схем, приведенных на рис. 4.1, проводится выбор исследуемых точек на шкале прибора. При этом можно воспользоваться следующими правилами:

1) чем выше класс прибора, тем большее число исследуемых точек необходимо выбрать;

2) для рабочих измерительных приборов число исследуемых точек обычно составляет 5–6, а их число и расположение должно соответствовать требованиям ГОСТ 8.508–84 [47].

В каждой из выбранных точек шкалы прибора проводится заданное число измерений. Если число измерений не задано, то оно выбирается произвольно, но не менее 10 [47]. Для повышения достоверности результатов число измерений целесообразно увеличить до 16–20, а в ответственных случаях – до 50 и более.

Отметим, что число измерений зависит от принятой доверительной вероятности P (растет с ростом P) и от допускаемой погрешности среднего квадратического отклонения $\Delta\sigma$ (растет при уменьшении $\Delta\sigma$).

Таблица значений $n = f(P, \Delta\delta)$ для нормального закона распределения приведена в государственном стандарте ГОСТ 8.508–84 [47].

При законе распределения результатов измерений, отличном от нормального, необходимое число измерений стандартом [47] не рассматривается.

Измерения рекомендуется проводить путем постепенного увеличения измеряемой величины до предельного значения для исследуемого устройства с последующим постепенным уменьшением ее до минимума. Увеличение и уменьшение измеряемой величины проводятся столько раз, сколько измерений необходимо провести, фиксируя каждый раз показания исследуемого измерительного устройства в выбранных точках шкалы.

По результатам эксперимента в каждой исследуемой точке оцениваются значения величин $\bar{x}$ и σ по следующим формулам:

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i , \qquad (4.1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}{n-1}} , \qquad (4.2)$$

где $\overline{x}$ – среднее арифметическое значение;

σ – среднее квадратическое отклонение;

x_i – результат *i*-го изменения;

n – число измерений.

Полученные описанным методом экспериментальные данные и расчетные значения являются исходными, позволяющими путем соответствующей обработки получить необходимые сведения об исследуемом средстве измерений (т. е. его систематическую, случайную и суммарную погрешности).

4.2. Выявление промахов

Выявление промахов необходимо провести до определения погрешностей измерений. Эта операция особенно целесообразна в том случае, если среди ряда измерений встречаются отдельные значения, резко отличные от других.

Промахи возникают, как правило, из-за неверных действий оператора, но могут также явиться результатом неисправности используемых средств измерений. Во всех случаях промахи не являются характеристикой измерений, и для избежания значительных искажений результатов их необходимо отбросить.

Для объективного решения вопроса о том, является ли промахом какой-либо результат измерения, применяются специальные методы. Наибольшее распространение получили два из них: метод (критерий) 3σ и табличный метод (критерий Смирнова–Греббса).

В основу метода 3σ («три сигма») положено допущение, что результаты однократных измерений x могут отклоняться от их среднего арифметического значения $\bar{x}$ не более чем на 3σ. Если же какой-либо результат однократного измерения $x_П$ отклоняется от *x* более чем на 3σ, то $x_П$ – промах.

Метод 3σ универсален и может быть использован при любом законе распределения рассматриваемых величин. Если закон распределения рассматриваемых величин неизвестен, то метод 3σ формально применим, но при этом остается неизвестной доверительная вероятность, с которой выявляются промахи.

Рассмотрим для примера нормальное распределение. Известно, что при нормальном распределении случайных величин их рассеивание около арифмети-

ческого среднего с вероятностью 0,997 не превосходит величины ±3σ. Этот вывод следует непосредственно из рассмотрения нормального закона распределения случайных величин. Иначе говоря, принято считать, что результаты, вероятность получения которых меньше 0,003, могут появиться только при наличии в ряду измерений промахов. Для обнаружения промахов по методу 3σ необходимо выполнить следующие операции:

1) подсчитать среднее арифметическое значение ряда измерений $\bar{x}$ по формуле (4.1);

2) подсчитать среднее квадратическое отклонение σ по (4.2);

3) найти по абсолютной величине разность A между предполагаемым промахом $x_{\text{п}}$ и средним арифметическим значением ряда измерений.

$$A = |x_{\text{п}} - \bar{x}|; \tag{4.3}$$

4) провести сравнение полученной величины A с 3σ. Если выполняется условие

$$A < 3\sigma, \tag{4.4}$$

то величина $x_{\text{п}}$ не является промахом. Если условие (4.4) не выполняется, то $x_{\text{П}}$ – промах, и его следует отбросить.

Используя метод 3σ, следует помнить: существует очень малая, но отличная от нуля вероятность того, что отброшенный результат измерения является не промахом, а естественным статистическим отклонением.

Идея табличного метода была высказана еще в 1941 году Н.В. Смирновым, а затем развита в 1950 году Греббсом. Поэтому иногда в литературе табличный метод выявления промахов называют критерием Греббса (или критерием Смирнова–Греббса).

Табличный метод разработан из предположения, что результаты измерений равноточные и подчиняются нормальному закону распределения.

Для практического использования рассматриваемого метода (на основе положений теории вероятностей и математической статистики [3]) составлены специальные таблицы (см. табл. П.1.4).

В таблице помещены значения некоторых табличных коэффициентов $W_т$, подсчитанные в зависимости от доверительной вероятности P и числа измерений n. Коэффициенты $W_т$ представляют собой, по сути дела, отношение доверительных интервалов, соответствующих выбранной доверительной вероятности, к среднему квадратическому отклонению.

При практическом применении табличного метода необходимо выполнить следующие операции:

1) подсчитываются величины $\bar{x}$ и σ для данного ряда измерений;

2) находится величина W:

$$W = \left| \frac{x_П - \bar{x}}{\sigma} \right|, \qquad (4.5)$$

где $x_П$ – предполагаемый промах;

3) по специальным таблицам (см. табл. П.1.4) в зависимости от проведенного числа измерений и принятой доверительной вероятности находится величина табличного коэффициента $W_т$;

4) проводится сравнение величины W, полученной согласно (4.5) по экспериментальным данным, с табличной величиной $W_т$.

Если выполняется условие

$$W < W_т,$$

то величина $x_п$ не является промахом, и ее следует оставить в ряду измерений.

Если же окажется, что

$$W > W_т,$$

то величина $x_п$ с принятой доверительной вероятностью является промахом, и ее следует отбросить.

После выявления и исключения промахов подсчитываются новые значения величин $\bar{x}$ и σ, и уже эти новые значения участвуют в дальнейших расчетах.

4.3. Систематические погрешности

Систематические погрешности средств измерений – это, как уже отмечалось выше, составляющие погрешности, которые в данном ряду измерений остаются постоянными или закономерно изменяются.

Следует отметить, что систематические погрешности (как и случайные) в различных точках шкалы одного и того же прибора или измерительного устройства могут быть различны. Поэтому после проведения исследований можно с уверенностью говорить о величине погрешностей лишь в выбранных точках шкалы прибора. Что касается интервалов между точками, то здесь обычно исходят из предположения, что от точки к точке погрешности прибора изменяются плавно (без скачков).

Оценка систематической погрешности проводится в следующей последовательности:

1) в каждой из выбранных точек шкалы прибора определяется среднее арифметическое значение $\bar{x}$;

2) систематическая погрешность средства измерений Δ_C определяется в каждой из выбранных точек шкалы как разность между средним арифметическим и истинным значением измеряемой величины в этой точке:

$$\Delta_C = \bar{x} - x_0, \qquad (4.6)$$

где x_0 – определено выше.

Систематическая погрешность Δ_C может быть как положительной (при $\bar{x} > x_0$), так и отрицательной (при $\bar{x} < x_0$).

Истинное значение измеряемой величины x_0, как правило, неизвестно, и вместо x_0 используется действительное значение измеряемой величины, за которое принимают показания образцовых средств измерений.

Систематическая погрешность, подсчитанная по формуле (4.6), является абсолютной и имеет ту же размерность, что и измеряемая величина.

Кроме абсолютных значений, подсчитываются относительная δ_C и приведенная γ_C систематические погрешности:

$$\delta_C = \frac{\Delta_C}{x_0} 100\ \%, \qquad (4.7)$$

$$\gamma_C = \frac{\Delta_C}{x_N} 100\ \%, \qquad (4.8)$$

где x_N – нормирующее значение (в большинстве случаев $x_N = x_K$);

x_K – верхний предел шкалы прибора.

Относительная и приведенная погрешности выражаются обычно в процентах, но могут выражаться и в относительных величинах.

На рис. 4.2 изображена числовая ось, на которой отложено истинное значение измеряемой величины x_0 и нанесены результаты измерений этой величины исследуемым средством измерений. В результате первого измерения получено значение x_1, второго – x_2, третьего – x_3, и т. д. (на рис. 4.2 обозначены результаты только первых четырех измерений). На числовой оси отложены также величины $x_П$ и $\overline{x}$. На рисунке представлены, кроме того, среднее квадратическое отклонение (σ) систематическая погрешность (Δ_C), случайная погрешность ($\overset{0}{\Delta}$) и суммарная погрешность (Δ).

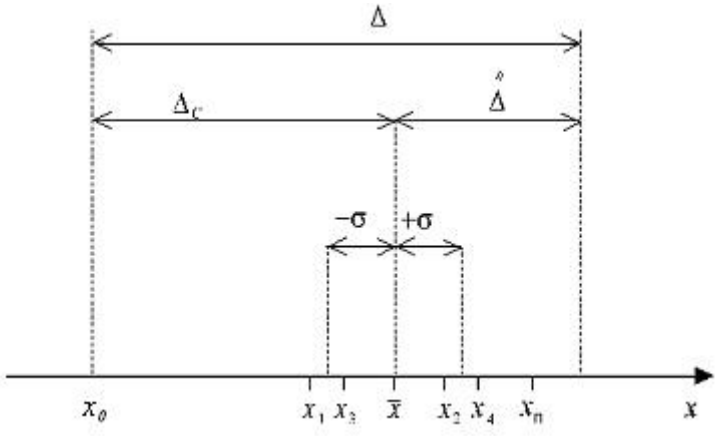


Рис. 4.2. Графическая интерпретация статических погрешностей средств измерений

Таким образом, из приведенного рисунка следует, что систематическая погрешность является некоторой постоянно присутствующей средней величиной, но отнюдь не исчерпывает всех погрешностей измерительного устройства. Действительно, разность между результатами отдельных измерений и истинным значением измеряемой величины может превосходить систематическую

погрешность (как, например, разности $x_2 - x_0$, $x_4 - x_0$ и т. д.), т. е. кроме систематической явно видна погрешность случайная.

4.4. Случайные погрешности

Случайные погрешности средств измерений (СИ) – это, как уже отмечалось, составляющие погрешности, которые в данном ряду измерений, выполненных исследуемым СИ, изменяются случайным образом.

Определение случайной погрешности (так же как и систематической) проводится в каждой из выбранных точек шкалы (или диапазона измерений) исследуемого СИ в следующей последовательности:

1) определяются средние арифметические значения $\bar{x}$;

2) определяются средние квадратические отклонения σ;

3) определяются случайные погрешности по формуле (4.9) без учета знака

$$\overset{0}{\Delta} = K \cdot \sigma, \qquad (4.9)$$

где K – коэффициент, зависящий от принятой доверительной вероятности и закона распределения результатов измерений, рассматриваемых как случайные величины.

Стандарты (см., например, ГОСТ 8.009–84 [44] и ГОСТ 8.508–84 [47]) допускают использование в качестве характеристики случайной погрешности средств измерений значение среднего квадратического отклонения σ, оцениваемого по формуле (4.2).

Отметим, что значение СКО характеризует разброс результатов измерений около среднего арифметического значения (см. рис. 4.2).

Переходя к точностным характеристикам средств измерений, еще раз отметим, что следует рассматривать положительные значения СКО ($+\sigma$) и положительные значения случайной погрешности $\overset{0}{\Delta}$.

Коэффициент K, как уже отмечалось, зависит от принятой доверительной вероятности и закона распределения результатов измерений. Значение K для различных законов распределения приведены в методических указаниях по

применению ГОСТ 8.009–84 [44]. В настоящем учебном пособии при оценке случайных погрешностей используется предположение, что результаты измерений подчиняются нормальному закону распределения.

Ниже приведены значения K в зависимости от доверительных вероятностей P при нормальном законе распределения:

P = 0,68; K = 1,00;

P = 0,95; K = 1,96;

P = 0,99; K = 2,58.

Подробная таблица значений K приведена в табл. П.1.5.

Отметим, что при нормальном законе распределения результатов измерений коэффициент K обычно называют «квантиль нормального распределения». Это обстоятельство отражено в заголовке табл. П.1.5.

Случайная погрешность, подсчитанная по формуле (4.9), является абсолютной и имеет ту же размерность, что и измеряемая величина.

Кроме абсолютных значений, могут также подсчитываться относительная и приведенная случайные погрешности:

$$\overset{\circ}{\delta} = \frac{\overset{\circ}{\Delta}}{x_0} 100\ \%, \tag{4.10}$$

$$\overset{\circ}{\gamma} = \frac{\overset{\circ}{\Delta}}{x_N} 100\ \%, \tag{4.11}$$

где x_0, x_n – определены выше.

Относительная и приведенная случайные погрешности выражаются, как правило, в процентах, но могут выражаться и в относительных величинах.

Проиллюстрируем изложенное с помощью рис. 4.2. Как уже указывалось выше, на рисунке изображена числовая ось с отложенными на ней результатами измерения x_1, x_2, x_3, ... известной величины x_0. Кроме того, на рисунке показаны величины $\overline{x}$, σ, Δ_C и Δ. Рассмотрим последнюю величину подробнее. Согласно выражению (4.9), случайная погрешность определяется как произведение K и σ.

Выражение

$$\overset{0}{\Delta} = K \cdot \sigma$$

обозначает, что случайная погрешность с вероятностью P не превзойдет величины $K \cdot \sigma$.

Например, при $K = 2$ и $P = 0{,}95$ случайная погрешность с вероятностью 0,95 будет не больше величины 2σ.

Таким образом, когда речь идет о случайной погрешности, кроме ее значений необходимо указывать доверительную вероятность результата.

При подсчете случайных погрешностей основная трудность возникает при определении коэффициента K, так как закон распределения результатов измерений, как правило, неизвестен.

Правомерность предположения о нормальности закона распределения результатов измерений может быть проверена по одному из критериев согласия, изложенных, например, в Государственных стандартах (ГОСТ 8.207–76 [46]; ГОСТ 8.508–84 [47]) или по критерию Романовского, приведенному в [30].

В прил. 2 описан критерий согласия по ГОСТ 8.508–84 [47].

4.5. Суммарные погрешности

Суммарная погрешность средства измерения Δ равняется арифметической сумме систематической и случайной погрешностей и характеризует наибольшую статическую погрешность средства измерения (СИ) в исследуемой точке шкалы (ГОСТ 8.009–84 [44]; ГОСТ 8.508–84 [47]).

$$\Delta = \pm\left(\left|\Delta_C\right| + \left|\overset{0}{\Delta}\right|\right). \qquad (4.12)$$

Отметим, что в разных точках шкалы измерительного устройства величины Δ (как и Δ_c, и $\overset{0}{\Delta}$) могут быть различны, поэтому для характеристики устройства в целом рассматривают наибольшую суммарную погрешность Δ_m. В этом случае говорят, что погрешность СИ не превосходит величины Δ_m.

Аналогично могут быть рассмотрены максимальная систематическая погрешность Δ_{cm} и максимальная случайная погрешность $\overset{\circ}{\Delta}_m$ как наибольшие погрешности из полученных в различных точках шкалы средства измерений.

Суммарная погрешность, подсчитанная по формуле (4.12), является абсолютной и имеет ту же размерность, что и измеряемая величина.

Кроме абсолютных значений, подсчитываются относительная δ и приведенная γ суммарные погрешности:

$$\sigma = \frac{\Delta}{x_0} 100\ \%, \tag{4.13}$$

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_N} 100\ \%, \tag{4.14}$$

где x_N – нормирующее значение.

Относительная и приведенная суммарные погрешности обычно выражаются в процентах, но могут выражаться и в виде относительных величин.

Для иллюстрации изложенного на рис. 4.2 наряду с другими величинами отложена величина суммарной погрешности.

Поскольку в состав суммарной погрешности входит случайная погрешность, то суммарная погрешность также является случайной величиной. Оценим доверительную вероятность *P*, с которой найдена абсолютная суммарная погрешность Δ, если доверительная вероятность оценки абсолютной случайной погрешности составляет *P* (аналогично могут быть рассмотрены доверительные вероятности относительных и приведенных погрешностей).

Напомним, что систематическая погрешность Δ_C – это погрешность, которая остается постоянной при повторных измерениях одной и той же величины. Другими словами, Δ_C, по определению, есть постоянная величина и в силу этого имеет доверительную вероятность, равную единице.

Воспользуемся теоремой умножения вероятностей, которая гласит: если сложное событие *C* состоит из ряда независимых исходов простых событий A_1, A_2, ..., A_n и его осуществление означает одновременное появление всех исхо-

дов, то вероятность такого сложного события равна произведению вероятностей исходов (см. [17, с. 46]), т. е.

$$P(C) = P(A_1 \cap A_2 \cap ... \cap A_n) = \prod_{j=1}^{n} P(A_j), \qquad (4.15)$$

где знак $\cap$ соответствует операции «и».

Независимость исходов при этом означает, что осуществление одного из них не влияет на вероятность осуществления остальных.

В нашем случае выражение (4.15) принимает вид

$$P(\Delta) = P(\Delta_c) \cdot P(\overset{o}{\Delta}) = P(\overset{0}{\Delta}), \qquad (4.16)$$

где $P(\Delta_c)$ – доверительная вероятность систематической погрешности

($P(\Delta_c) = 1$);

$P(\overset{o}{\Delta})$ – доверительная вероятность случайной погрешности;

$P(\Delta)$ – доверительная вероятность суммарной погрешности.

Таким образом, в рассмотренном случае доверительная вероятность суммарной погрешности численно равна доверительной вероятности случайной погрешности. Другими словами, с доверительной вероятностью P абсолютная суммарная погрешность исследованного средства измерения не превосходит величины Δ.

Соотношения (4.12), (4.13) и (4.14), приведенные выше, позволяют оценить значения абсолютной, относительной и приведенной суммарных погрешностей средств измерений.

Полученные значения абсолютной суммарной погрешности Δ (или относительной δ, или приведенной γ суммарных погрешностей) позволяют присвоить исследованному средству измерений тот или иной класс точности (см. п. 3.4 учебного пособия). Присвоенный класс точности должен соответствовать требованиям ГОСТ 8.401–80 [45].

Отметим, что для решения поставленной задачи по определению численного значения класса точности полученные значения Δ, или δ, или γ округляются до ближайшего большего значения стандартного ряда и являются классом точ-

ности данного средства измерений (СИ). Например, для СИ, имеющего δ = = ±1,2 %, класс точности (1,5); для СИ, имеющего γ = ±3,2 %, класс точности 4,0 и т. д.

Присвоенный класс точности заносится в техническую документацию на СИ. Кроме того, класс точности наносится на шкалы, щитки или корпуса средств измерений в соответствии с требованиями ГОСТ 8.401–80 [45].

4.6. Правила округления

Результаты измерений и погрешности следует округлять по сложившимся правилам.

Основные положения этих правил округления:

1. Округление проводится только один раз при получении окончательных результатов. Все промежуточные результаты целесообразно представлять тем числом разрядов, которые удается получить.

2. Округление начинается с округления погрешности результата измерения.

3. Погрешность результата измерения округлятся до двух значащих цифр, если при движении слева направо первая значащая цифра округляемой погрешности меньше 3.

Погрешность результата измерения округляется до одной значащей цифры, если при движении слева направо первая значащая цифра округляемой погрешности больше 3 или равна 3.

4. Результат измерения округляется так, чтобы он оканчивался цифрой того же разряда, что и значение погрешности. Если числовое значение результата измерения представляется десятичной дробью, оканчивающейся нулями, то нули отбрасываются только до того разряда, который соответствует разряду числового значения погрешности.

5. Если цифра старшего из отбрасываемых разрядов меньше 5, то остающиеся цифры в числе не изменяют. Если эта цифра больше 5, то последнюю оставляемую цифру увеличивают на единицу. Лишние цифры в целых числах

заменяют нулями, а в десятичных дробях отбрасывают. Например, результат измерения U = 25,4587 мВ при погрешности результата Δ = ±0,0213 мВ. Округление начинается с погрешности. После округления погрешность Δ = ±0,021 мВ и результат измерения U = 25,459 мВ. Результат измерения с учетом погрешности запишется в виде U' = (25,459±0,021) мВ. Если погрешность (при том же результате измерения) Δ = ±6,25 мВ, то после округления Δ = ±6 мВ, U = 25 мВ и результат измерения с учетом погрешности U' = (25±6) мВ.

6. Если отбрасываемая цифра равна 5, а следующие за ней цифры отсутствуют или нули, то последнюю сохраняемую цифру числа не изменяют.

Если отбрасываемая цифра равна 5, а следующие за ней цифры отличны от нуля, то последнюю сохраняемую цифру числа увеличивают на единицу.

7. Примеры округления:

а) результат измерения A = 625,47; погрешность ΔA = ±7,24. После округления: ΔA = ±7; A = 625 и результат измерения с учетом погрешности A' = (625±7);

б) результат измерения B = 1055,53; погрешность ΔB = ±5,29. После округления: ΔB = ±5; B = 1056 и результат измерения с учетом погрешности B' = (1056±5);

в) результат измерения C = 72,85; погрешность ΔC = ±0,35. После округления: ΔC = ±0,3; C = ±72,8 и результат измерения с учетом погрешности C = (72,8±0,3). Остающиеся цифры в числе не изменяют.

4.7. Пример расчета

В качестве примера рассмотрен расчет точностных характеристик вольтметра по результатам измерений с его помощью заданного напряжения. Расчет проведен в соответствии с рекомендациями, изложенными в пп. 4.1–4.6 учебного пособия.

Пример

При многократных измерениях напряжения $U_0 = 60{,}00$ В получены следующие показания исследуемого вольтметра: 60,12; 60,15; 60,16; 60,18; 60,20;

60,23; 60,25; 60,27; 60,28; 60,31 В. Предполагая, что результаты измерений подчиняются нормальному закону распределения, найти (с доверительной вероятностью P = 0,95) систематическую, случайную и суммарную погрешности вольтметра. Верхний предел измерения вольтметра $U_K = 200$ В.

Оценка искомых величин проводится в нижеследующей последовательности.

1. Рассчитывается среднее арифметическое значение рассматриваемого ряда измерений:

$$\overline{U} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} U_i = \frac{1}{10}(60{,}15 + ...60{,}31) = 60{,}215 \text{ В},$$

где $\overline{U}$ – среднее арифметическое значение;

n – число измерений (n = 10);

U_i – значение i-го измерения.

2. Определяется среднее квадратическое отклонение σ по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(U_i - \overline{U}\right)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(60{,}15-60{,}215)^2 + ... + (60{,}31-60{,}215)^2}{10-1}} = 0{,}0628 \text{ В},$$

где σ – среднее квадратическое отклонение;

U_i, $\overline{U}$ и n – определены выше.

3. Выявляются возможные промахи методом 3σ и методом Смирнова–Греббса (табличным методом).

Метод 3σ

Для реализации этого метода подсчитывается значение 3σ = 3·0,0628 = 0,1884 В, которое сравнивается с разностью между $U_{\text{П}}$ и $\overline{U}$.

$$\left|U_{\text{П}} - \overline{U}\right| = \left|60{,}31 - 60{,}215\right| = 0{,}095 < 3\sigma,$$

где $U_{\text{П}}$ – предполагаемый промах ($U_{\text{П}} = 60{,}31\ B$);

$\overline{U} = 60{,}215B$ – определено выше.

Поскольку $\left|U_{\text{П}} - \overline{U}\right| < 3\sigma$, то $U_{\text{П}} = 60{,}31B$ – не промах, и это значение следует оставить в ряду измерений.

Табличный метод

Для реализации табличного метода оцениваются значения:

$$W = \frac{\left|U_{\text{П}} - \overline{U}\right|}{\sigma} = \frac{60,31 - 60,215}{0,0628} = 1,5127;$$

$$W_{\text{Т}} = f\left(p_i n\right) = 2,29 \text{ (для } p = 0,95 \text{ и } n = 10),$$

где W_T – табличное значение, зависящее от принятой доверительной вероятности p и числа измерений n (см. табл. П.1.4);

$U_{\text{П}}, \overline{U}$ и σ – определены выше.

Поскольку $W < W_T$, то $U_П = 60,31B$ _ не промах, и это значение следует оставить в ряду измерений.

4. Оценивается абсолютная систематическая погрешность вольтметра:

$$\Delta_C = \overline{U} - U_0 = 60,215 - 60,00 = 0,215 \text{ В},$$

где Δ_C – систематическая погрешность вольтметра в рассматриваемой точке шкалы или диапазона измерения;

U_0 – рассматриваемая точка шкалы (диапазона измерения), значение напряжения в которой принимается за истинное значение измеряемой величины (U_0 = 60,00 В);

$\overline{U}$ – определено выше.

5. Оценивается абсолютная случайная погрешность вольтметра:

$$\overset{0}{\Delta} = \kappa \cdot \sigma = 1,96 \cdot 0,0628 = 0,1231 \text{ В},$$

где $\overset{0}{\Delta}$ – случайная погрешность вольтметра в рассматриваемой точке шкалы (диапазоне измерения);

κ – коэффициент, зависящий от принятой доверительной вероятности p и от закона распределения результатов измерений (для p = 0,95 и нормального закона распределения результатов измерений κ = 1,96);

σ – определено выше.

6. Оценивается абсолютная суммарная погрешность вольтметра:

$$\Delta = \pm(|\Delta_C| + |\overset{0}{\Delta}|) = \pm(0{,}215 + 0{,}1231) = \pm 0{,}3381\ \text{В};$$

$$\Delta = \pm 0{,}3381\ \text{В},$$

где Δ – абсолютная суммарная погрешность вольтметра;

Δ_C, $\overset{0}{\Delta}$ – определены выше.

7. Оценивается относительная суммарная погрешность вольтметра:

$$\delta = \pm\frac{\Delta}{U_0}100\ \% = \pm\frac{0{,}3381}{60{,}00}100\ \% = \pm 0{,}5635\ \%;$$

$$\delta = \pm 0{,}5635\ \%,$$

где δ – относительная суммарная погрешность;

U_0 – определено выше (U_0 = 60,00 В).

8. Оценивается приведенная суммарная погрешность вольтметра:

$$\gamma = \pm\frac{\Delta}{U_k}100\ \% = \pm\frac{0{,}3381}{200}100\ \% = \pm 0{,}1690\ \%;$$

$$\gamma = \pm 0{,}1690\%,$$

где γ – приведенная суммарная погрешность;

U_k – верхний предел шкалы или диапазона измерения вольтметра (U_k = 200 В).

9. Провести округление полученных величин. После округления рассматриваемые величины принимают следующие значения:

$$\Delta = \pm 0{,}3\ \ B;$$

$$\delta = \pm 0{,}6\ \%;$$

$$\gamma = \pm 0{,}17\ \%;$$

$$\overline{U'} = (60{,}2 \pm 0{,}3)\ \text{В},\ p = 0{,}95.$$

Следовательно, с доверительной вероятностью p = 0,95 суммарные погрешности (при измерении напряжения U_0 = 60,00 В) составляют: абсолютная $\pm$ 0,3 В; относительная $\pm$ 0,6 %; приведенная $\pm$ 0,17 %. При этом результат измерения исследуемым вольтметром в выбранной точке шкалы (или диапазона

измерения) может быть записан как $(60{,}2 \pm 0{,}3)$ В. Отметим, что термин «шкала» применяется для отсчетного устройства стрелочных приборов, а термин «диапазон измерения» – для отсчетного устройства цифровых измерительных приборов. В приведенном примере не уточняется тип прибора (стрелочный прибор или цифровой) и, в силу этого, используются оба термина при характеристике рассматриваемых величин.

5. ДОВЕРИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕРВАЛЫ И ПОГРЕШНОСТИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

5.1. Общие положения

В учебном пособии широко используются такие величины, как среднее арифметическое значение ($\bar{x}$), среднее квадратическое отклонение (σ), систематические (Δ_C), случайные ($\overset{0}{\Delta}$) и суммарные (Δ) погрешности средств измерений (СИ). Все перечисленные величины зависят от числа измерений «*n*» и принимают разные значения в зависимости от «*n*». За истинные значения $\bar{x}$, σ, Δ_C, $\overset{0}{\Delta}$ и Δ принимаются их значения при бесконечно большом числе измерений (при $n \to \infty$). На практике число измерений всегда ограничено, что приводит к появлению погрешностей при оценке рассматриваемых величин. Причем погрешность из-за конечного числа измерений тем больше, чем меньше проведенное число измерений.

Ниже рассматривается порядок оценки погрешностей при определении величин $\bar{x}$, Δ_C и σ. Аналогичные погрешности могут быть найдены для величины $\overset{0}{\Delta}$ и Δ, но фактически эти погрешности рассчитываются исключительно редко и в силу этого в данном учебном пособии не рассматриваются.

5.2. Погрешность арифметического среднего

При конечном числе измерений в значении арифметического среднего появляется погрешность, которая тем больше, чем меньше проведенное число измерений.

Погрешность среднего арифметического значения определяется по формуле

$$\Delta\bar{x} = \pm t \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \qquad (5.1)$$

где *t* – коэффициент Стьюдента, зависящий от принятой доверительной вероятности *P* и числа измерений *n* (значения *t* приведены в табл. П.1.2).

Область значений $\Delta\bar{x}$ может быть записана в виде

$$F\left(a_1\langle\bar{x}\langle a_2\right)=P\,, \tag{5.2}$$

т. е. с доверительной вероятностью P значение $\bar{x}$ больше значения a_1 и меньше значения a_2, где a_1 – нижняя и a_2 – верхняя доверительные границы.

Изложенное иллюстрируется на рис. 5.1, *а*, где изображена числовая ось, на которой отложены среднее арифметическое значение $\bar{x}$, верхняя a_2 и нижняя a_1 границы доверительного интервала $\bar{x}$ и погрешности среднего арифметического $+\Delta\bar{x}$ и $-\Delta\bar{x}$. Нижняя и верхняя границы доверительного интервала определяются соотношениями

$$a_1=\left(\bar{x}-\Delta\bar{x}\right), \tag{5.3}$$

$$a_2=\left(\bar{x}+\Delta\bar{x}\right). \tag{5.4}$$

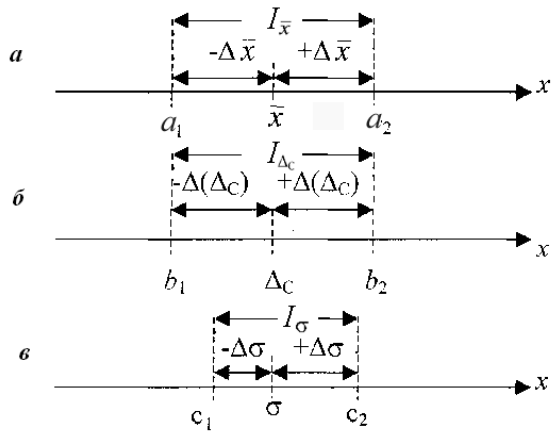


Рис. 5.1. Графическая интерпретация доверительных интервалов и погрешности погрешностей

5.3. Погрешность систематической погрешности

Систематическая погрешность Δ_C определяется как разность между средним арифметическим значением и истинным значением измеряемой величины

$$\Delta_C=\bar{x}-x_0\,. \tag{5.5}$$

Предположим теперь, что известна погрешность среднего арифметического значения, равная $\pm\Delta\bar{x}$.

Тогда с учетом этой погрешности можно записать

$$\bar{x}=\bar{x}\pm\Delta\bar{x}\,. \tag{5.6}$$

Подставляя значение $\bar{x}$ в уравнение (5.5) и обозначая полученную при этом величину через Δ'_C, получим

$$\Delta'_C = \bar{x} \pm \Delta\bar{x} - x_0 = \bar{x} - x_0 \pm \Delta\bar{x} = \Delta_C \pm \Delta\bar{x}. \qquad (5.7)$$

Введем обозначение $\Delta(\Delta_C) = \Delta\bar{x}$ и будем называть в дальнейшем эту величину погрешностью систематической погрешности.

Следовательно, погрешность систематической погрешности численно равна погрешности арифметического среднего, если действительное значение измеряемой величины известно точно и не содержит каких-либо погрешностей:

$$\Delta(\Delta_c) = \pm t \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \qquad (5.8)$$

Таким образом, при малом числе измерений нельзя указать точное значение систематической погрешности, а можно лишь сказать, что с принятой доверительной вероятностью систематическая погрешность будет находиться в определенных границах. Нижняя b_1 и верхняя b_2 границы доверительного интервала определяются соответственно выражениями

$$b_1 = \Delta_C - \Delta(\Delta_C), \qquad (5.9)$$

$$b_2 = \Delta_C + \Delta(\Delta_C). \qquad (5.10)$$

Изложенное здесь иллюстрируется на рис. 5.1, *б*, где изображена числовая ось с отложенными на ней величинами Δ_C, b_1, b_2, $-\Delta(\Delta_C)$, $+\Delta(\Delta_C)$ и I_{Δ_C}.

Величина доверительного интервала систематической погрешности (т. е. промежуток, заключенный между верхней и нижней границей) зависит от проведенного числа измерений и от принятой доверительной вероятности. При заданной доверительной вероятности с ростом числа измерений доверительный интервал уменьшается и при числе измерений $n \to \infty$ стягивается в точку. Другими словами, при бесконечно большом числе измерений погрешности среднего арифметического и систематической погрешности равны нулю. Подчеркнем еще раз это обстоятельство. Увеличение числа измерений уменьшает не систематическую погрешность, а ее неопределенность. С ростом числа измерений уменьшается не сама погрешность, а погрешность погрешности.

5.4. Погрешность среднего квадратического отклонения

При малом числе измерений величина среднего квадратического отклонения σ, подобно среднему арифметическому значению измеряемой величины и систематической погрешности, также будет иметь погрешность. Погрешность среднего квадратического отклонения $\Delta\sigma$ может быть найдена по приближенной формуле

$$\Delta\sigma = \frac{\sigma}{\sqrt{2\cdot(n-1)}}. \qquad (5.11)$$

Выражение (5.11) справедливо для *n*, большего 25–30, но в случае грубых оценок это выражение можно использовать и для меньшего числа измерений.

Из (5.11) следует, что при $n = 30$ $\Delta\sigma = \pm 1/8\sigma$, т. е. при тридцати измерениях погрешность в определении среднего квадратического отклонения составит примерно 13 %. При $n = 50$ погрешность определения σ составит около 10 %, при $n = 100$ – примерно 7 %. Таким образом, погрешность в определении величины σ уменьшается медленнее, чем происходит рост числа измерений.

Для более строгой оценки погрешности среднего квадратического отклонения используется уже рассмотренное ранее распределение χ^2.

На основе распределения χ^2 для коэффициентов γ составлены специальные таблицы, в которых приводятся значения этих коэффициентов в зависимости от числа измерений и принятой доверительной вероятности. Поскольку распределение χ^2 асимметрично, то погрешности равного значения, но противоположного знака, не равновероятны, как в случае нормального распределения. Введем нижнюю и верхнюю границы погрешности:

$$\Delta_{1\sigma} = (\gamma_1 - 1)\sigma, \qquad (5.12)$$

$$\Delta_{2\sigma} = (\gamma_2 - 1)\sigma. \qquad (5.13)$$

Поскольку $\gamma_1 \langle 1$, а $\gamma_2 \rangle 1$, то величина $\Delta_1\sigma$, определяемая по (5.12), всегда отрицательна, а величина $\Delta_2\sigma$, определяемая по (5.13), всегда положительна. Отметим также, что $|\Delta_1\sigma| \langle |\Delta_2\sigma|$, т. е. положительная погрешность среднего квад-

ратического отклонения (СКО) всегда больше по абсолютной величине отрицательной погрешности СКО.

Подробная таблица значений коэффициентов γ_1 и γ_2 приводится в приложении (табл. П.1.3).

Вместо расчетных соотношений вида (5.12) и (5.13) можно использовать запись вида

$$F\left(c_1 < \sigma < c_2\right) = P,$$

т. е. с доверительной вероятностью P среднее квадратическое отклонение σ больше величины c_1 и меньше c_2.

На рис. 5.1, *в* изображена числовая ось и отложены величины σ, $\left|-\Delta\sigma\right| = \left|\Delta_1\sigma\right|, \left|+\Delta\sigma\right| = \Delta_2\sigma,$, c_1, c_2, где c_1 и c_2 – нижняя и верхняя границы доверительного интервала I_σ. Границы доверительного интервала I_σ определяются соотношениями

$$c_1 = \sigma - \left|\Delta_1\sigma\right| \tag{5.14}$$

$$c_2 = \sigma + \left|\Delta_2\sigma\right|. \tag{5.15}$$

Значение и асимметрия доверительного интервала зависят от проведенного числа измерений и принятой доверительной вероятности. При заданной доверительной вероятности с ростом числа измерений ширина доверительного интервала и его асимметрия уменьшаются, а при $n \to \infty$ доверительный интервал стягивается в точку.

Следует отметить, что при большом числе измерений приближенная формула (5.11) и более строгие соотношения (5.12) и (5.13) дают близкие результаты.

5.5. Необходимое число измерений

Для увеличения достоверности результата измерения могут быть использованы два пути: повышение точности измерений за счет улучшения измерительных приборов и методов измерений и увеличение числа измерений. Рас-

смотрим последний прием, считая, что все возможности совершенствования техники уже реализованы.

Сами погрешности (и систематические, и случайные) от числа измерений непосредственно не зависят. От числа измерений непосредственно зависят погрешности погрешностей и соответствующие доверительные интервалы, т. е. при увеличении числа измерений уменьшаются такие величины, как $\Delta\bar{x}$, $\Delta(\Delta_C)$ и $\Delta(\sigma)$.

Отметим, что уменьшать погрешность погрешностей целесообразно до тех пор, пока погрешность измерений не будет значительно превосходить соответствующую погрешность погрешности. Для этого необходимо, чтобы доверительный интервал, определенный с выбранной доверительной вероятностью, был бы существенно меньше величины погрешности измерений. Обычно в этих случаях сравнивают между собой погрешность среднего арифметического значения и систематическую погрешность Δ_C и добиваются, чтобы

$$\Delta\bar{x} << \Delta_C. \qquad (5.16)$$

На практике обычно считают, что условие (5.16) выполняется, если $\Delta\bar{x}$ составляет примерно одну десятую часть от Δ_C. Иногда удовлетворяются гораздо менее жесткими требованиями: $\Delta\bar{x} = 1/5\Delta_C$ или даже $\Delta\bar{x} = 1/3\Delta_C$.

В пункте 5.1 уже отмечалось, что погрешность арифметического среднего определяется с использованием распределения Стьюдента по соотношению (5.1). Выражение (5.1) позволяет решить и обратную задачу, т. е. по заданным величинам t и σ найти соответствующее им число измерений n. Правда, решение обратной задачи с помощью табл. П.1.2 приходится вести методом последовательного приближения, задаваясь различными значениями n. Необходимость последнего объясняется тем, что коэффициент Стьюдента t, значения которого приводятся в табл. П.1.2, зависит не только от доверительной вероятности, но и от проведенного числа измерений. Для облегчения решения поставленной задачи составлены специальные таблицы, в которых приводится необходимое число измерений для получения относительной погрешности $\Delta\bar{x}/\sigma$ в зависимости от требуемой доверительной вероятности P (см. табл. П.1.6).

Сущность пересчета от данных табл. П.1.2 к данным табл. П.1.6 заключается в следующем.

Выше было показано, что доверительная вероятность P попадания случайной величины z в интервал $\pm t$ зависит как от заданной величины t, так и от числа измерений n. На этой основе составлена табл. П.1.2. Коэффициенты Стьюдента представляют собой численные значения доверительного интервала $\pm t$ в зависимости от двух параметров P и n. Очевидно, с помощью такой таблицы можно определить любую из трех величин P, n и t по известным двум другим. В частности, таким образом можно найти n по заданным значениям P и t.

В практических условиях доверительный интервал задается не для величины t, а непосредственно для исследуемой случайной величины $\Delta\bar{x}$ (см. (5.1)).

На основании зависимости (5.1) можно записать

$$t = \sqrt{n} \cdot \frac{\Delta x}{\sigma}. \tag{5.17}$$

Откуда окончательно получаем

$$M = \frac{\Delta\bar{x}}{\sigma} = \frac{t}{\sqrt{n}}, \tag{5.18}$$

где M – обозначение приведенной величины доверительного интервала.

Таким образом, для решения поставленной задачи по определению необходимого числа измерений n по заданным значениям доверительного интервала $\pm\Delta\bar{x}$ и доверительной вероятности P необходимо коэффициенты Стьюдента t (см. табл. П.1.2) разделить на корень квадратный из соответствующего числа измерений n.

Полученная таким образом таблица приведена в прил. 1 (табл. П.1.6).

Приведем пример расчета необходимого числа измерений.

Пример 5.1. Систематическая погрешность вольтметра Δ_C = 0,8 В; σ = 1,0 В. Сколько измерений нужно проделать, чтобы с вероятностью 0,95 погрешность среднего арифметического была меньше половины систематической погрешности?

Находим $\Delta\bar{x}$ и отношение $\Delta\bar{x}$ к σ:

$$\Delta\bar{x} = \frac{1}{2}\cdot\Delta_C = \frac{1}{2}\cdot 0{,}8 = 0{,}4\ \text{В};$$

$$\frac{\Delta\bar{x}}{\sigma} = \frac{0{,}4}{1{,}0} = 0{,}4\,.$$

Из табл. П.1.2 находим в колонке $P = 0{,}95$ для $\Delta\bar{x}/\sigma = 0{,}4$, $n = 27$.

Иначе говоря, надо провести 27 измерений, чтобы погрешность среднего арифметического значения не превысила 0,4 В с вероятностью $P = 0{,}95$.

В данном случае получилось сравнительно небольшое число измерений, которое можно осуществить практически. Из табл. П.1.6 следует, что при высоких доверительных вероятностях и жестких требованиях к результатам измерений могут получаться очень большие числа измерений, исчисляемые десятками и даже сотнями тысяч. Очевидно, что реализовывать такие большие числа измерений невозможно, поэтому требования к результатам измерений должны быть согласованы с возможностями измерительных устройств и их не следует необоснованно завышать.

Выше подробно рассмотрен порядок расчетов, когда задана величина погрешности арифметического среднего. В случае, когда задана величина погрешности систематической погрешности, порядок расчетов остается тот же самый и поэтому здесь не рассматривается.

Погрешности среднего квадратического отклонения Δ_σ и тем более погрешность случайной погрешности $\Delta(\overset{0}{\Delta})$ в качестве исходных величин используются редко, и в силу этого в настоящем учебном пособии данный вопрос подробно не рассматривается. Отметим только, что при необходимости можно воспользоваться приближенным соотношением (5.11), решив его относительно числа измерений *n*. Можно также воспользоваться табл. П.1.3 γ-коэффициентов, но в этом случае задачу придется решать методом последовательного приближения.

В заключение параграфа опишем, какие и в какой последовательности следует выполнить операции, чтобы найти необходимое число измерений при заданной погрешности среднего арифметического значения $\bar{x}$.

Определение минимально необходимого числа измерений n для получения с выбранной доверительной вероятностью P заданной погрешности арифметического среднего приводится в нижеследующей последовательности.

В исследуемой точке шкалы прибора проводится 10–20 измерений и находятся величины $\bar{x}$ и σ. Измерения следует проводить таким образом, как описано в п. 4.1.

Находится отношение $\Delta\bar{x}/\sigma$, где $\Delta\bar{x}$ – заданная погрешность арифметического среднего.

По величине соотношения $\Delta\bar{x}/\sigma$ и заданной доверительной вероятности P находится минимально необходимое число измерений (см. табл. П.1.6).

Полученное согласно изложенному число измерений n_1 является первым приближением. Для получения второго приближения необходимо провести n_1 измерений и повторить все необходимые расчеты, порядок которых приведен выше. Если полученное число измерений n_1 меньше предварительно проведенного числа измерений или равно ему, то второго приближения делать не следует.

Из всего изложенного можно заключить, что увеличением числа измерений можно устранить влияние случайных воздействий на результат измерения только в том случае, если стандартное отклонение σ не более чем в несколько раз превосходит систематическую погрешность Δ_C. Реально это возможно, если $\sigma \le 5\Delta_C$. При больших значениях σ для получения удовлетворительных результатов уже требуются сотни и тысячи измерений, что практически невыполнимо. В этих случаях следует коренным способом менять методику измерений или используемые измерительные устройства, чтобы уменьшить величину среднего квадратического отклонения.

5.6. Пример расчета

Расчет погрешности погрешностей, доверительных интервалов и доверительных границ проведен с использованием условия задачи примера 4.1 (п. 4.7).

Для расчетов использованы следующие величины из примера 4.1:

$$\overline{U} = 60{,}215 \text{ В}; \ \sigma = 0{,}0628 \text{ В}; \ \Delta_C = 0{,}215 \text{ В}.$$

1. Погрешность среднего арифметического значения оценивается по формуле:

$$\Delta\overline{U} = \pm t\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \pm\frac{2,26\cdot 0,0628}{\sqrt{10}} = \pm 0,0449 \text{ В};$$

где $\Delta\overline{U}$ – погрешность среднего арифметического значения;

t – коэффициент Стьюдента, зависящий от принятой доверительной вероятности P и числа измерений n (для P = 0,95 и n = 10 t = 2,26; см.табл. П.1.2);

σ, n – определены выше.

2. Доверительные границы среднего арифметического значения оценивается по формулам

$$a_1 = \overline{U} - \left|\Delta\overline{U}\right| = 60,215 - 0,0449 = 60,1701 \text{ В};$$

$$a_2 = \overline{U} + \left|\Delta\overline{U}\right| = 60,215 + 0,0449 = 60,2599 \text{ В};$$

где a_1 и a_2 – нижняя и верхняя доверительные границы среднего арифметического значения;

$\Delta\overline{U}$ и $\overline{U}$ – определены выше.

3. Доверительный интервал среднего арифметического значения оцениваются по формуле

$$I_{\overline{U}} = a_2 - a_1 = 60,2599 - 60,1701 = 0,0898 \text{ В}.$$

4. Погрешность систематической погрешности численно равна погрешности арифметического среднего значения, т. е.

$$\Delta(\Delta_C) = \pm 0,0449 \text{ В},$$

где $\Delta(\Delta_C)$ – погрешность систематической погрешности.

5. Доверительные границы систематической погрешности оцениваются по формулам

$$b_1 = \Delta_C - \left|\Delta(\Delta_C)\right| = 0,2150 - 0,0449 = 0,1701 \text{ В};$$

$$b_2 = \Delta_C - \left|\Delta(\Delta_C)\right| = 0,2150 + 0,0449 = 0,2599 \text{ В};$$

где b_1 и b_2 – нижняя и верхняя доверительные границы систематической погрешности;

Δ_C и $\Delta(\Delta_C)$ – определены выше.

6. Доверительный интервал систематической погрешности определяется по формуле

$$I_{\Delta_C} = b_2 - b_1 = 0{,}2599 - 0{,}1701 = 0{,}0898 \text{ В};$$

где I_{Δ_C} – доверительный интервал систематической погрешности;

b_1 и b_2 – определены выше.

7. Приближенное значение погрешности среднего квадратического отклонения (СКО) оценивается по формуле

$$\Delta\sigma = \pm\frac{\sigma}{\sqrt{2(n-1)}} = \pm\frac{0{,}0628}{\sqrt{2(10-1)}} = \pm 0{,}0148 \text{ В};$$

где Δσ – приближенное значение погрешности СКО;

σ и n – определены выше.

8. Уточненные значения погрешностей среднего квадратического отклонения (СКО) оцениваются по формулам

$$\Delta_1\sigma = (\gamma_1 - 1)\sigma = (0{,}69 - 1)\cdot 0{,}0628 = -0{,}0195 \text{ В};$$

$$\Delta_2\sigma = (\gamma_2 - 1)\sigma = (1{,}83 - 1)\cdot 0{,}0628 = 0{,}0521 \text{ В};$$

где $\Delta_1\sigma$ и $\Delta_2\sigma$ – уточненные погрешности (СКО);

γ_1 и γ_2 – коэффициенты, зависящие от принятой доверительно вероятности P и числа измерений n (для P = 0,95 и n = 10 γ_1 = 0,69 и γ_2 = 1,83, см. табл. П.1.3);

σ – определено выше.

9. Уточненные доверительные границы среднего квадратического отклонения (СКО) оцениваются по формулам

$$C_1 = \sigma - |\Delta_1\sigma| = 0{,}0628 - 0{,}0195 = 0{,}0433 \text{ В};$$

$$C_2 = \sigma + |\Delta_2\sigma| = 0{,}0628 + 0{,}0521 = 0{,}1149 \text{ В},$$

где C_1 и C_2 – уточненные нижняя и верхняя доверительные границы СКО;

σ, $\Delta_1\sigma$, $\Delta_2\sigma$ – определены выше.

10. Уточненный доверительный интервал среднего квадратического отклонения (СКО) оценивается по формуле

$$I_\sigma = C_2 - C_1 = 0{,}1149 - 0{,}0433 = 0{,}0716 \text{ В};$$

где I_σ – уточненное значение доверительного интервала СКО;

C_1 и C_2 – определены выше.

После округления найденных величин получены следующие их значения:

$$\Delta\overline{U} = \pm 0{,}04 \text{ В};\ a_1 = 60{,}10 \text{ В};\ a_2 = 60{,}26 \text{ В};\ I_{\overline{U}} = 0{,}09 \text{ В}.$$

$$\Delta(\Delta_C) = \pm 0{,}04 \text{ В};\ b_1 = 0{,}17 \text{ В};\ b_2 = 0{,}26 \text{ В};\ I_{\Delta_C} = 0{,}09 \text{ В}.$$

$$\Delta\sigma = \pm 0{,}01 \text{ В}.$$

$$\Delta_1\sigma = -0{,}02 \text{ В};\ \Delta_2\sigma = +0{,}05 \text{ В};$$

$$C_1 = 0{,}04 \text{ В};\ C_2 = 0{,}11 \text{ В};\ I_\delta = 0{,}07 \text{ В}.$$

В заключение напомним еще раз основные положения.

При малом числе измерений появляются погрешности погрешностей, которые уменьшаются с ростом числа измерений. Приведенный пример позволяет количественно оценить погрешности погрешностей при $n = 10$ (где n – число измерений).

Подсчет погрешностей среднего квадратического отклонения (СКО) по приближенной формуле всегда дает симметричные и несколько меньшие значения, чем значения, полученные по уточненным формулам с использованием коэффициентов γ_1 и γ_2 (см. приведенный пример).

Погрешности СКО, найденные по уточненным формулам, всегда асимметричны, причем отрицательная погрешность по абсолютной величине всегда меньше положительной погрешности. Уточненная отрицательная погрешность по абсолютной величине близка погрешности, получаемой по приближенной формуле (см. результаты расчетов, приведенные в рассмотренном примере).

6. ДИНАМИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

6.1. Общие положения

Динамическая погрешность измерений – это погрешность, возникающая при измерении переменных во времени величин или неустановившихся периодических процессов и обусловленная инерционными свойствами средств измерений [1, 2, 26].

Динамическая погрешность средства измерения $d(t)$ может быть определена как разность между сигналом на выходе средства измерения $x(t)$ и истинным значением измеряемой величины $x_0'(t)$, приведенной к выходу.

$$d(t) = x(t) - x_0'(t), \tag{6.1}$$

где значения величин $d(t)$, $x(t)$ соответствуют моменту времени t.

Выражение (6.1) свидетельствует, что динамическая погрешность является функцией времени и зависит от характера входного сигнала.

Истинным значением измеряемой величины является ее значение на входе измерительного устройства $x_0(t)$. Для сравнения входных и выходных величин между собой необходимо сделать их приведение «к входу» или «к выходу» средства измерения. Воспользовавшись приведением «к выходу», запишем значение динамической погрешности $d(t)$ в виде

$$d(t) = x(t) - Kx_0(t), \tag{6.2}$$

где $x(t)$ – выходной сигнал;

$x_0(t)$ – входной сигнал;

K – статический передаточный коэффициент.

Статический передаточный коэффициент находится в статических условиях работы измерительного устройства как отношение приращения выходной величины Δx к приращению входной величины Δx_0:

$$K = \Delta x / \Delta x_0. \tag{6.3}$$

При классификации погрешностей средств измерений отмечалось, что динамическая погрешность может быть представлена в виде суммы двух со-

ставляющих – систематической и случайной. Однако из-за большой сложности разделения динамических погрешностей на систематические и случайные составляющие такого разделения обычно не проводят, а ограничиваются рассмотрением суммарной динамической погрешности, определяемой выражением (6.2).

Вместе с тем следует отметить, что динамическая погрешность в виде (6.2) сравнительно редко используется на практике. Это объясняется тем, что $d(t)$ характеризует реакцию измерительного устройства на вполне определенный входной сигнал $x_0(t)$. Величина погрешности в этом случае зависит как от динамических свойств измерительного устройства, так и от вида входного сигнала, причем каждому входному сигналу соответствует своя динамическая погрешность. В силу этого для описания динамических свойств самих измерительных приборов (или устройств), а не системы прибор-сигнал предпочитают использовать другие характеристики. Наиболее полно динамические свойства измерительного устройства описываются передаточной функцией $W(p)$, которая, как известно, определяется соотношением

$$W(p) = \frac{x(p)}{x_0(p)}, \tag{6.4}$$

где p – комплексная переменная величина(параметр);

$x_0(p)$, $x(p)$ – входной и выходной сигналы, преобразованные по Лапласу, при нулевых начальных условиях.

Другими важными характеристиками измерительных устройств являются амплитудно- и фазово-частотные характеристики.

Амплитудно-частотной характеристикой измерительного устройства называется зависимость амплитуды выходного сигнала от частоты выходного сигнала (при постоянстве амплитуды входного сигнала).

Фазово-частотной характеристикой измерительного устройства называется зависимость фазового сдвига между выходным и входным сигналами от частоты изменения входного сигнала.

Методы определения передаточных функций и частотных характеристик подробно рассматриваются в курсе теории автоматического управления и детально освещены в соответствующей литературе. Более подробно с методами определения передаточных функций и частотных характеристик можно ознакомиться по работе [27]. В данном учебном пособии эти вопросы рассмотрены очень кратко.

6.2. Передаточные функции

Существует несколько методов экспериментального определения параметров передаточной функции $W(p)$, правомерных для линейных средств измерений, не имеющих чистого запаздывания. Наибольшее распространение получил метод, основанный на использовании переходных характеристик $L(t)$ исследуемых устройств и характеристик типовых динамических звеньев.

Переходной характеристикой $L(t)$ динамической системы называется ее реакция на входной сигнал, имеющий вид ступенчатой функции, при нулевых начальных условиях. На рис. 6.1 приводится характерный вид входных и выходных сигналов при исследовании измерительных устройств.

Рекомендуется следующая последовательность операций для определения передаточной функции измерительного устройства.

На вход исследуемого измерительного устройства подается сигнал в виде единичной функции, т. е. на входе устройства изменяются скачком напряжение, ток и т. д. Скачок входной величины может быть как положительным, так и отрицательным. Для определенности все последующие рассуждения проводятся применительно к положительному скачку входного сигнала.

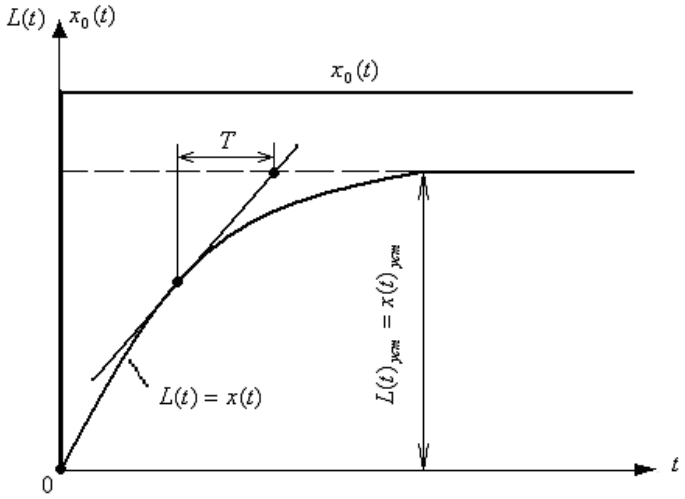


Рис. 6.1. Характерный вид входных и выходных сигналов
при исследовании измерительных устройств первого порядка

В зависимости от свойств исследуемого устройства переходная характеристика может иметь апериодический или колебательный характер, а работа устройства может быть описана дифференциальным уравнением первого, второго, третьего и т. д. порядков. При этом измерительные устройства соответственно называются устройствами первого, второго, третьего и т. д. порядков.

По переходным характеристикам, полученным экспериментально в соответствии с изложенным, отыскивается передаточная функция измерительного устройства. Вид передаточной функции определяется главным образом порядком устройства.

Для измерительных устройств первого порядка передаточная функция имеет вид

$$W(p)=\frac{K}{Tp+1}. \tag{6.5}$$

Для измерительных устройств второго порядка передаточная функция имеет вид

$$W(p)=\frac{K}{T_2^2 p^2+T_1 p+1} \tag{6.6}$$

или

$$W(p)=\frac{K}{(T_3 p+1)(T_4 p+1)}. \tag{6.7}$$

Для измерительных устройств третьего порядка передаточная функция имеет вид

$$W(p) = \frac{K}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)} \qquad (6.8)$$

или

$$W(p) = \frac{K}{(T_1 p + 1)(T^2 p^2 + 2T\lambda p + 1)} \; . \qquad (6.9)$$

Для измерительных устройств четвертого порядка:

$$W(p) = \frac{K}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)} . \qquad (6.10)$$

Неизвестные параметры T, T_1, T_2, T_3 и T_4 передаточных функций измерительных устройств первого и второго порядков рекомендуется определять графически [27].

Неизвестные параметры T, T_1, T_2, T_3, T_4, λ передаточных функций измерительных устройств третьего и четвертого порядков рекомендуется определять графоаналитическим методом Цыпкина–Максимова. Измерительные устройства старших порядков – третьего, четвертого и т. д. – встречаются на практике сравнительно редко, и поэтому определение их параметров в данном пособии не рассматривается.

Оценка параметров передаточных функций устройств высоких порядков может быть проведена по работе [27].

В настоящем учебном пособии рассматривается оценка параметров передаточной функции устройства первого порядка (см. соотношение (6.5)).

Неизвестный параметр T (постоянная времени) для измерительных устройств первого порядка определяется по графику переходной характеристики как величина проекции касательной в данной точке на линию установившегося значения $L(t) = L(t)_{уст}$(см. рис. 6.1), причем в идеальном случае T одинакова во всех точках кривой $L(t)$. Поскольку проводить точно касательные к экспериментально полученной кривой $L(t)$ затруднительно, то рекомендуется провести

касательные к трем- етырем точкам кривой, найти для каждой точки T и взять среднее арифметическое значение.

Отметим, что длительность переходного процесса для устройств первого порядка (т. е. время затухания переходной характеристики) с погрешностью около 5 % равна $3T$ и с погрешностью около 1 % равна $5T$.

Неизвестный статический передаточный коэффициент K оценивается по соотношению (6.3), привиденному выше.

6.3. Частотные характеристики

Частотные характеристики измерительных устройств (амплитудные и фазовые) могут быть получены экспериментально или расчетным путем по передаточным функциям. При экспериментальном определении частотных характеристик на вход измерительных устройств подаются переменные (синусоидальные) сигналы, частота которых изменяется от нуля до максимально возможного для данного устройства значения. При этом проводятся замеры амплитудных значений сигналов на входе и выходе устройства и фазовые сдвиги между входными и выходными сигналами.

Под термином *«входной сигнал»* подразумевается сигнал той или иной природы, поступающий на вход устройства (для вольтметра это напряжение, для амперметра – электрический ток и т. д.).

Под термином *«выходной сигнал»* подразумеваются показания устройства, считываемые с его выхода (для стрелочных приборов это отсчет по шкале, для осциллографа – изображение на экране и т. д.).

Амплитудно-частотные и фазово-частотные характеристики (и вообще динамические характеристики) имеет смысл рассматривать для датчиков (преобразователей неэлектрических величин в электрические), осциллографов и некоторых других приборов, используемых для измерения параметров неустановившихся (переходных) процессов. Для стрелочных приборов, компенсаторов с ручным управлением и подобных им приборов, предназначенных для измерений в установившемся режиме, эти характеристики, как правило, не рассматриваются. В паспортах приборов, предназначенных для измерения параметров ус-

тановившихся процессов в цепях переменного тока, обычно указывается частотный диапазон, в котором они работают без значительных погрешностей.

Следует отметить, что если амплитудно- и фазово-частотные характеристики и передаточная функция позволяют судить о динамических свойствах измерительного устройства и его возможности при измерениях в неустановившихся (переходных) режимах, то частотный диапазон характеризует возможности измерительного устройства при измерениях периодических процессов в установившихся режимах.

Ниже приводятся аналитические выражения, связывающие амплитудно-частотные и фазово-частотные характеристики с параметрами передаточных функций T_1, T_2, T_3, T_4, T.

Для измерительных устройств первого порядка

$$A(\omega) = \frac{K}{\sqrt{\omega^2 T^2 + 1}}. \qquad (6.11)$$

Для апериодических устройств второго порядка

$$A(\omega) = \frac{K}{\sqrt{\omega^2 T_3^2 + 1} \cdot \sqrt{\omega^2 T_4^2 + 1}}. \qquad (6.12)$$

Для колебательных устройств второго порядка

$$A(\omega) = \frac{K}{\sqrt{\left(1 - \omega^2 T_2^2\right)^2 + \omega^2 T_1^2}}, \qquad (6.13)$$

$$\varphi(\omega) = -\operatorname{arctg} \frac{\omega T_1}{1 - \omega^2 T_2^2} \qquad (6.14)$$

Типичный вид амплитудно- и фазово-частотных характеристик рассмотренных динамических звеньев приведен на рис. 6.2.

Таким образом, динамические свойства измерительных устройств можно охарактеризовать:

1) динамической погрешностью;
2) передаточной функцией измерительного устройства;
3) амплитудно- и фазово-частотными характеристиками.

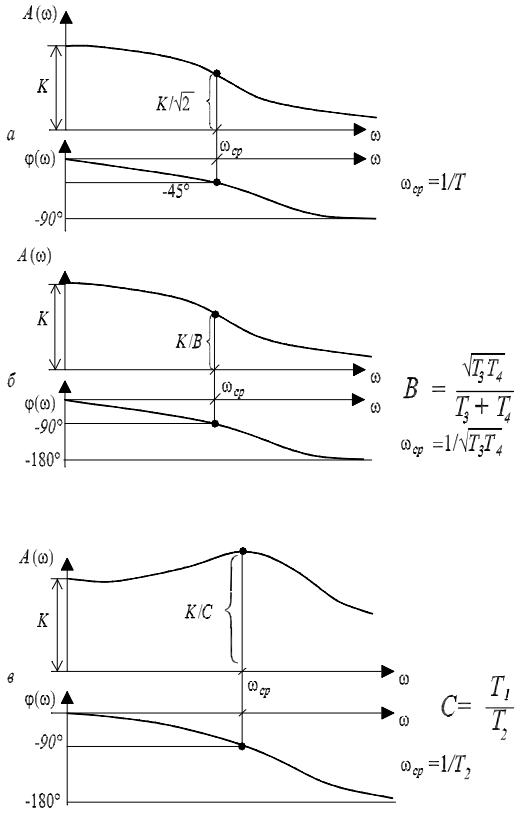


Рис. 6.2. Характерный вид амплитудно-частотных А(ω) и фазово-частотных φ(ω) характеристик типовых динамических звеньев: *а* – апериодическое звено первого порядка; *б* – апериодическое звено второго порядка; *в* – колебательное звено второго порядка

Более подробно с динамическими характеристиками различных устройств можно ознакомиться по работе [27].

Динамические характеристики средств измерений нормирует ГОСТ 8.009–84 [44].

6.4. Пример расчета

Сформулируем постановку задачи. Задана переходная характеристика линейного измерительного устройства (рис. 6.3).

Требуется определить: передаточную функцию устройства; амплитудно- и фазово-частотные характеристики; динамическую погрешность устройства при изменении входного сигнала по закону

$$x_{вх}(t) = 1{,}1 + 2{,}0 \cdot e^{0{,}5t}.$$

Определение параметров передаточной функции

По виду переходной характеристики (см. рис. 6.3) можно заключить, что исследуемое измерительное устройство является устройством первого порядка и его передаточная функция имеет вид

$$W(p)=\frac{K}{Tp+1}.$$

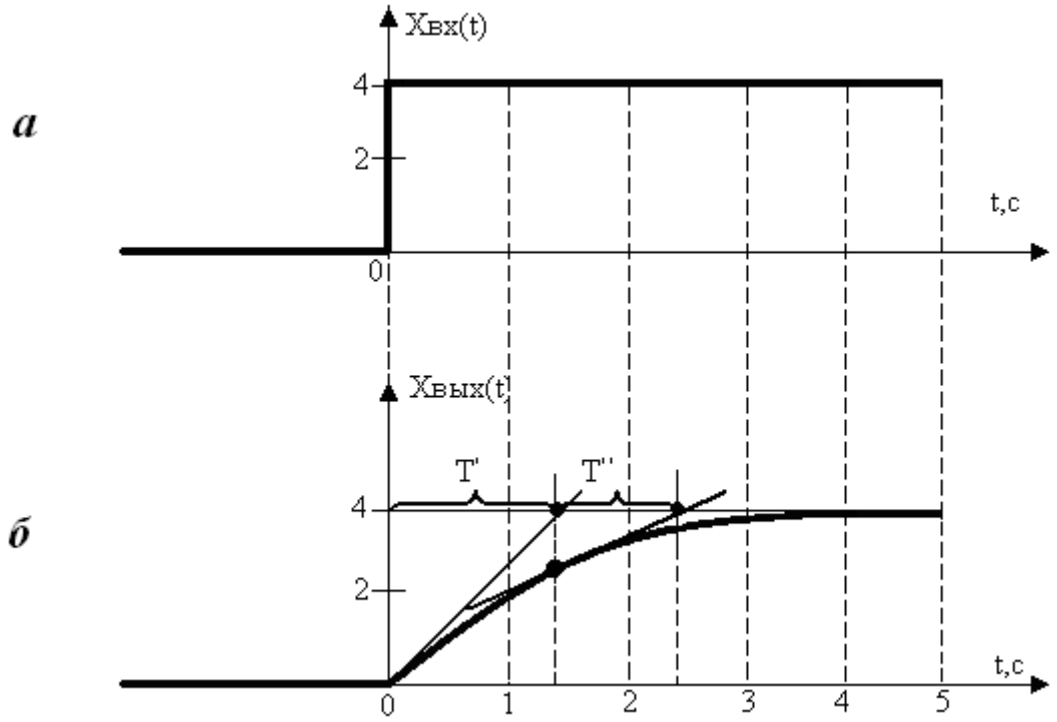


Рис. 6.3. Сигнал на входе и на выходе исследуемого измерительного устройства: *X*вх(t) – входной сигнал; *X*вых(t) – выходной сигнал

На основании методики, изложенной в пособии, неизвестные параметры передаточной функции запишутся в виде

$$K=\frac{\Delta x_{вых}}{\Delta x_{вх}}=\frac{4-0}{4-0}=1; \qquad K=1,$$

$$T=\frac{T'+T''}{2}=\frac{1{,}4+1{,}2}{2}=1{,}3; \qquad T = 1{,}3 \text{ с}.$$

Таким образом,

$$W(p)=\frac{1}{1{,}3p+1}.$$

Определение амплитудно- и фазово-частотных характеристик

Искомые характеристики исследуемого измерительного устройства запишутся следующим образом:

$$A(\omega) = \frac{K}{\sqrt{T^2\omega^2 + 1}} = \frac{1}{\sqrt{1{,}3^2\omega^2 + 1}},$$

$\varphi(\omega) = -\text{arctg}\, T = -\text{arctg}\, 1{,}3\,\omega$.

Численные значения $A(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ при изменении угловой частоты от $\omega = 0$ до $\omega = 6$ приведены ниже, а графики зависимостей $A = f(\omega)$ и $\varphi = f(\omega)$ представлены в табл. 6.1 и на рис. 6.4.

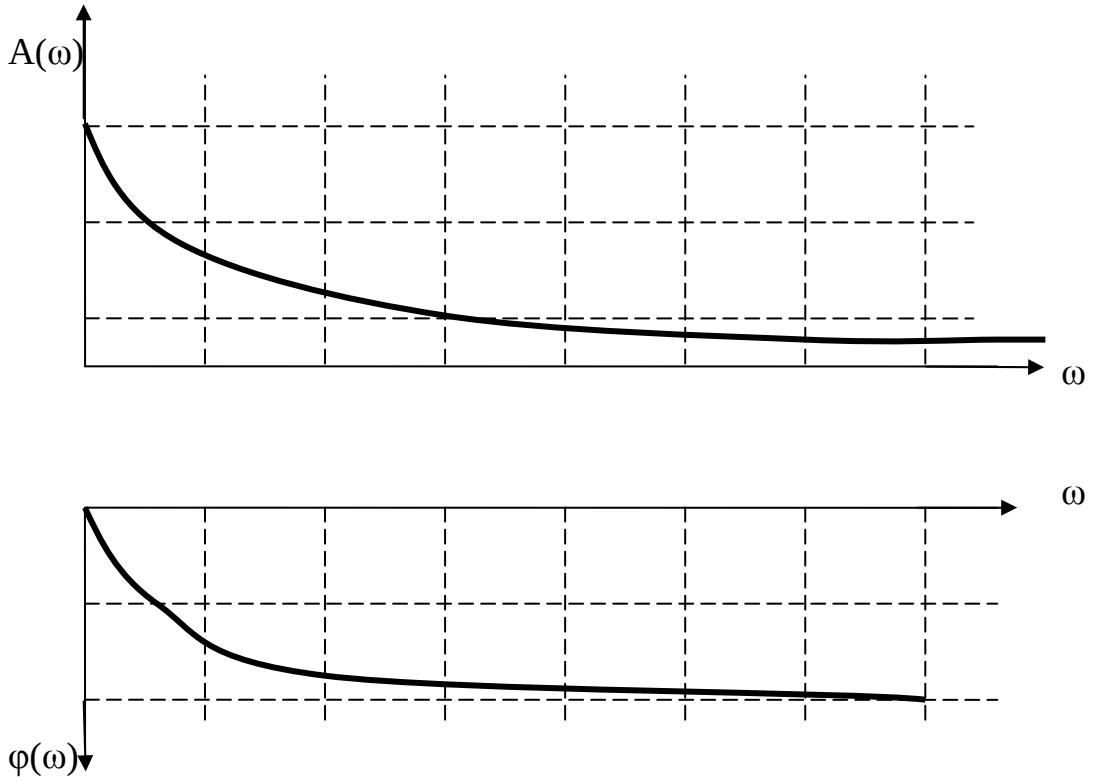


Рис 6.4. Амплитудно- и фазово-частотные характеристики

Таблица 6.1

Зависимость амплитуды и фазы от угловой частоты

Ω	0,00	0,30	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
A(ω)	1,00	0,93	0,84	0,61	0,36	0,25	0,19	0,15	0,13
φ(ω)	0,00	25°40’	38°40’	58°00’	72°40’	78°20’	81°10’	83°50’	84°05’

Определение погрешности

Динамическая погрешность для входного сигнала $x_{вх}(t) = 1{,}1 + 2{,}0 \cdot e^{0{,}5t}$ запишется в виде

$$d(t) = \frac{x_{вых}(t)}{K} - x_{вх}(t) = \frac{x_{вых}(t)}{1} - 1{,}1 - 2{,}0 \cdot e^{0{,}5t}.$$

Воспользуемся рекомендациями, изложенными в пособии, и на их основании определим закон изменения выходного сигнала. Для этого найдем изображение по Лапласу входного сигнала, затем изображение по Лапласу выходного сигнала $x_{\text{вых}}(t)$.

Изображение входного сигнала:

$$x_{вх}(t) = 1{,}1 + 2{,}0 \cdot e^{0{,}5t} \;\dot{=}\; \frac{1{,}1}{p} + \frac{2{,}0}{p - 0{,}5};$$

$$x_{вх}(p) = \frac{1{,}1}{p} + \frac{2{,}0}{p - 0{,}5}.$$

Изображение выходного сигнала

$$x_{вых}(p) = W(p) \cdot x_{вх}(p),$$

где $x_{вых}(p)$ – изображение по Лапласу выходного сигнала;

$W(p)$ – передаточная функция измерительного устройства, используемого для измерения входного сигнала.

Отметим, что передаточная функция уже найдена выше и определяется соотношением

$$W(p) = \frac{1}{1{,}3 + 1}.$$

Изображение выходного сигнала с учетом $W(p)$ и $x_{вх}(p)$ имеет вид

$$x_{вых}(p) = \frac{1{,}1}{p(1{,}3p + 1)} + \frac{2{,}0}{(p - 0{,}5)(1{,}3p + 1)}.$$

После деления числителя и знаменателя на 1,3 и приведения значения $x_{вых}(p)$ к табличному виду получим

$$x_{вых}(p) = 1{,}1 \cdot \frac{0{,}8}{p(p+0{,}8)} + 1{,}5 \cdot \frac{1}{(p+0{,}8)(p-0{,}5)}.$$

По таблицам преобразования Лапласа (см. табл. П.1.7) оригинал выходного сигнала по его изображению запишется в виде

$$x_{вых}(t) = 1{,}1 - 2{,}3 \cdot e^{-0{,}8t} + 1{,}2e^{0{,}5t}.$$

Динамическая погрешность рассматриваемого средства измерения с учетом найденного выходного сигнала запишется в виде

$$d(t) = -2{,}3 \cdot e^{-0{,}8t} - 0{,}8e^{0{,}5t}.$$

График, иллюстрирующий изменение динамической погрешности во времени, представлен на рис. 6.5.

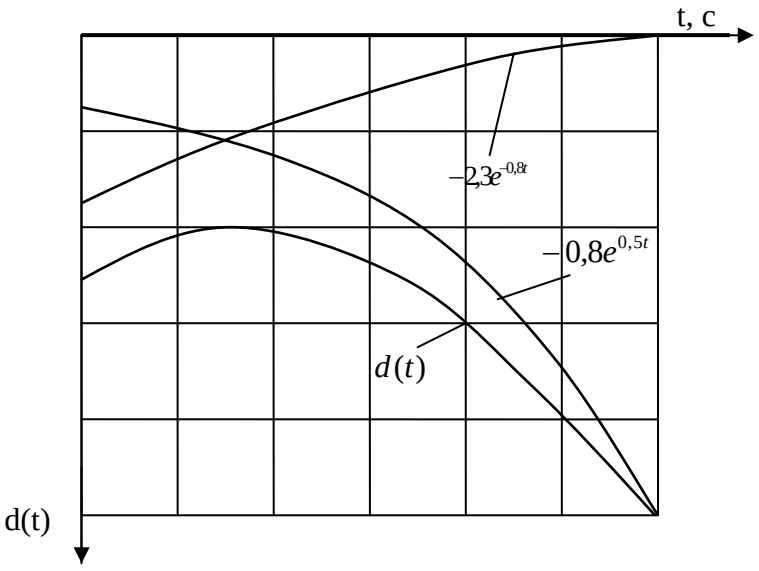


Рис. 6.5. Динамическая погрешность $d(t)$ апериодического средства измерения первого порядка при экспоненциальном изменении входного сигнала

Таким образом, на основании проведенных расчетов можно заключить, что исследованное измерительное устройство пригодно для измерений постоянных во времени или медленно изменяющихся сигналов. При измерении переменных во времени сигналов, изменяющихся с частотами более 0,1 Гц, появляются значительные динамические погрешности, а при измерении экспоненциально возрастающих сигналов появляются увеличивающиеся с течением времени динамические погрешности, как показано на рис. 6.5.

7. ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

7.1. Погрешности прямых многократных измерений

7.1.1. Порядок оценки

Порядок оценки погрешностей прямых многократных измерений регламентирует стандарт ГОСТ 8.207–76 [46].

Стандарт [46] регламентирует оценку погрешностей прямых измерений с многократными независимыми наблюдениями, подчиняющимися нормальному закону распределения, и устанавливает основные положения методов обработки результатов наблюдений. Отметим, что в стандарте [46] принята терминология, отличная от терминологии, используемой в настоящее время. Так, например, использованы термины «наблюдение» (под наблюдением подразумевается однократное измерение) и «результат измерения», за которое принимается среднее арифметическое значение рассматриваемых многократных измерений.

При обработке результатов наблюдений необходимо выполнить нижеследующие операции.

1. Исключить известные систематические погрешности из результатов наблюдений.

2. Вычислить среднее арифметическое значение результатов наблюдений , принимаемое за результат измерения:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \ ,$$

где x_i – i-й результат наблюдения;

n – число результатов наблюдений.

3. Вычислить среднее квадратическое отклонение σ результата наблюдений:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \ .$$

4. Выявить и отбросить результаты наблюдений, содержащие промахи (если они есть).

5. Вычислить среднее квадратическое отклонение результата измерения:

$$\sigma(\bar{x}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}.$$

6. Проверить гипотезу о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному закону распределения. Проверка гипотезы может быть проведена по критерию, приведенному в ГОСТ 8.207–76 [46], или по критерию, приведенному в прил. 2 к данному учебному пособию. При $n < 10$ проверка гипотезы не проводится. При этом применение ГОСТа 8.207–76 возможно, если заранее известно, что результаты наблюдений подчиняются нормальному закону распределения.

7. Вычислить случайную составляющую погрешности результата измерения ε (без учета знака) по формуле

$$\varepsilon = t \cdot \sigma\left(\bar{x}\right),$$

где t – коэффициент Стьюдента.

Значения коэффициента Стьюдента в зависимости от принятой доверительной вероятности P и числа результатов наблюдений n приведены в приложении к учебному пособию (см. табл. П.1. 2).

Доверительную вероятность $P = 0{,}95$ принимают при проведении технических измерений, $P = 0{,}99$ – при проведении метрологических измерений и измерений, результаты которых имеют значение для здоровья людей.

8. Вычислить неисключенную систематическую погрешность Θ (систематическую составляющую погрешности) результата измерения. В качестве Θ принимают пределы допускаемых основных и дополнительных погрешностей средств измерений, а также методические погрешности и погрешности, вызванные другими источниками.

При 5–10 суммированиях отдельных неисключенных систематических погрешностей каждое слагаемое рассматривается как случайная величина. При

отсутствии данных о виде распределения этих величин (что обычно имеет место на практике) их распределения принимают за равномерное. При равномерном распределении неисключенных систематических погрешностей их значение (без учета знака) можно вычислить по формуле

$$\Theta = k \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^{m} \Theta_j^2} ,$$

где Θ_j – j-я неисключенная систематическая погрешность (НСП);

m – число суммируемых НСП;

k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью и числом слагаемых m.

При доверительной вероятности $P = 0{,}95$ коэффициент k принимают равным 1,1 (независимо от числа слагаемых для $m \geq 2$). При $m = 1$ $k = 1$.

При доверительной вероятности $P = 0{,}99$ коэффициент k зависит от числа суммируемых НСП. При $m \leq 4$ коэффициент k определяется по графику зависимости

$$k = f(m, l),$$

где $l = \Theta_1/\Theta_2$;

Θ_1 – составляющая погрешности, наиболее отличная от других;

Θ_2 – составляющая погрешности, наиболее близкая к Θ_1.

График зависимости (7.6) приведен на рис. 7.1

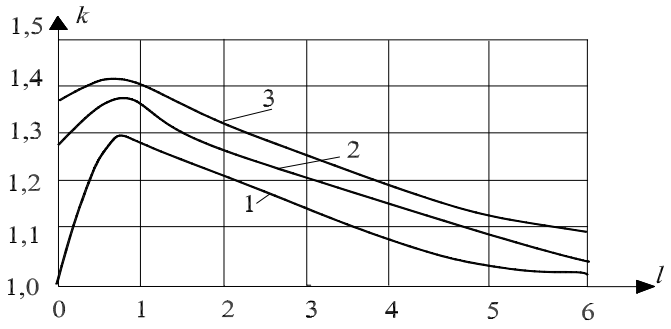


Рис. 7.1. График зависимости $k = f(L, m)$: 1 – $m = 2$; 2 – $m = 3$; 3 – $m = 4$

Для приближенных оценок погрешностей могут быть приняты следующие значения коэффициента k: при $m = 2$ $k = 1{,}2$; при $m = 3$ $k = 1{,}3$; при $m = 4$ $k = 1{,}4$; при $m \geq 5$ $k = 1{,}45$. Отметим, что при $m = 1$ $k = 1$.

9. Вычислить погрешность результата измерения Δ. Значение Δ вычисляется в том случае, если выполняется условие

$$0{,}8 \le \Theta/\sigma(\bar{x}) \le 8{,}0. \qquad (7.7)$$

Если условие (7.7) не выполняется, то при $\Theta/\sigma(\bar{x}) < 0{,}8$ принимается $\Delta = \varepsilon$, а при $\Theta/\sigma(\bar{x}) > 8{,}0$ принимается $\Delta = \Theta$.

Погрешность, возникающая из-за пренебрежения одной из составляющих погрешности результата измерения (при выполнении указанных неравенств), не превышает 15 %.

Если условие (7.7) выполняется, то погрешность результата измерения вычисляется по формуле

$$\Delta = K_\Sigma \sigma_\Sigma,$$

где K_Σ – коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной систематической погрешности;

σ_Σ – суммарное среднее квадратическое отклонение результата измерения.

Коэффициент K_Σ вычисляют по эмпирической формуле

$$K_\Sigma = \frac{\varepsilon + \Theta}{\sigma(\bar{x}) + \sigma(\Theta)},$$

где $\sigma(\Theta) = \Theta / k\sqrt{3}$.

Суммарное среднее квадратическое отклонение вычисляют по формуле

$$\sigma_\Sigma = \sqrt{\sigma^2(\bar{x}) + \sigma^2(\Theta)}.$$

Результаты прямых многократных измерений представляют в форме

$$(\bar{x} \pm \Delta); P,$$

где $\bar{x}$ – результат измерения;

$\pm\Delta$ – погрешность результата измерения;

P – принятая доверительная вероятность.

Числовое значение результата измерения должно оканчиваться цифрой того же разряда, что и значение погрешности Δ.

При отсутствии данных о виде функций распределений составляющих погрешности результата и необходимости дальнейшей обработки результатов или анализа погрешностей, результаты измерений представляют в форме

$$\bar{x},\ \sigma(\bar{x}),\ n,\ \Theta,\ P,$$

где величины $\sigma(\bar{x})$, n, Θ, P – определены выше.

7.1.2. Пример расчета

Условие задачи

С помощью универсального цифрового вольтметра с известными метрологическими характеристиками проведены многократные измерения напряжения лабораторной сети. Результаты измерений:

$$U_1 = 218{,}62 \text{ В};\ U_2 = 219{,}83 \text{ В};\ U_3 = 218{,}97 \text{ В};\ U_4 = 220{,}05 \text{ В};$$

$$U_5 = 218{,}37 \text{ В};\ U_6 = 219{,}74 \text{ В}.$$

Предел измерения вольтметра $U_K = 1000$ В. Класс точности вольтметра 0,5/0,1. Нормальные условия эксплуатации вольтметра: $\tau_0 = (20 \pm 2)\ ^0\text{C}$; $H_0 = 0$ А/м, где τ – температура и H_0 – напряжение внешнего магнитного поля в нормальных условиях эксплуатации.

Измерения проведены при температуре $\tau = +24\ ^0C$ и напряженности внешнего магнитного поля $H = 20$ А/м.

Найти абсолютную погрешность результата измерения, округлить и записать результат измерения, если наблюдения подчиняются нормальному закону распределения и принята доверительная вероятность $P = 0{,}95$.

В соответствии с технической документацией дополнительные абсолютные систематические погрешности используемого вольтметра определяются соотношениями $\theta_\tau = \dfrac{\tau - \tau_0}{10} \cdot \theta_{ОС}$; $\theta_Н = \dfrac{H - H_0}{50} \cdot \theta_{ОС}$,

где θ_τ – дополнительная абсолютная температурная погрешность;

$\theta_Н$ – дополнительная абсолютная погрешность от воздействия магнитного поля;

$\theta_{ОС}$ – основная абсолютная погрешность вольтметра, определяемая его классом точности.

Решение задачи

1. Среднее арифметическое значение $\overline{U}$, принимаемое за результат измерения, запишется в виде

$$\overline{U} = \frac{1}{6}\sum_{i=1}^{6} U_i = 219{,}2633\ A$$

2. Среднее квадратическое отклонение σ имеет значение

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{6}\left(U_i - \overline{U}\right)}{6-1}} = 0{,}7022 \text{ В}.$$

3. Выявление промахов проводится по методике, изложенной в п. 4.2. Пример выявления промахов уже приведен (см. п. 4.7) и в данном разделе учебного пособия не рассматривается. Отметим только, что в приведенном ряду измерений промахи отсутствуют.

4. Основная относительная систематическая погрешность результата измерения $\delta_{ос}$, обусловленная классом точности использованного вольтметра:

$$\delta_{ос} = \left[0{,}5 + 0{,}1\left(\frac{U_k}{U} - 1\right)\right]\%$$

где $U_k = 1000$ В (верхний предел диапазона измерения);

$\overline{U} = 219{,}2633$ В (результат измерения);

$$\delta_{ос} = \left[0{,}5 + 0{,}1\left(\frac{1000}{219{,}2633} - 1\right)\right] = 0{,}8561\%\ .$$

5. Основная абсолютная систематическая погрешность результата измерения $\Theta_{ос}$, обусловленная классом точности используемого вольтметра:

$$\Theta_{ос} = \frac{U}{100}\cdot\delta_{ос} = \frac{219{,}2633}{100}\cdot 0{,}8561 = 1{,}8771 \text{ В}$$

6. Дополнительная абсолютная систематическая погрешность результата измерения Θ_{τ}, обусловленная воздействием температуры окружающей среды:

$$\Theta_{\tau} = \frac{\tau - \tau_0}{10}\cdot\Theta_{ос} = \frac{24-22}{10}\cdot 1{,}8771 = 0{,}3754 \text{ В}$$

7. Дополнительная абсолютная систематическая погрешность результата измерения, обусловленная воздействием на вольтметр переменного магнитного поля:

$$\Theta_{\text{Н}} = \frac{H}{50} \cdot \Theta_{\text{ос}} = \frac{20}{50} \cdot 1,8771 = 0,7508 \text{ В}.$$

8. Суммарная абсолютная неисключенная систематическая погрешность результата измерения Θ, обусловленная используемым вольтметром:

$$\Theta = k\sqrt{\sum_{j=1}^{m} \Theta_j^2},$$

где $k = 1,1$ для доверительной вероятности $P = 0,95$;

Θ_j – j-я составляющая абсолютной неисключенной систематической погрешности;

$$\Theta = k\sqrt{\Theta_{ос}^2 + \Theta_{\tau}^2 + \Theta_H^2} = 1,1\sqrt{1,8771^2 + 0,3754^2 + 0,7508^2} = 2,261 \text{ В}$$

9. Среднее квадратическое отклонение (СКО) результата измерения

$$\sigma_{\bar{U}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,7022}{\sqrt{6}} = 0,2867 \text{ В}$$

10. Случайная абсолютная погрешность результата измерения

$$\varepsilon = t \cdot \sigma_{\bar{U}},$$

где t – коэффициент Стьюдента ($t = 2,57$ при $n = 6$ и $P = 0,95$).

$$\varepsilon = 2,57 \cdot 0,2867 = 0,7368 \text{ В}.$$

11. Суммарная абсолютная погрешность результата измерения

$$\Delta = k_{\Sigma} \cdot \sigma_{\Sigma}.$$

Приведенная формула для оценки суммарной погрешности Δ правомерна, если выполняется условие

$$0,8 \le \frac{\theta}{\sigma_{\text{U}}} \le 8.$$

В нашем случае $\frac{\theta}{\sigma_U} = 7,89$, т. е. приведенная формула правомерна и ее можно использовать для расчетов.

$$k_\Sigma = \frac{\Theta + \varepsilon}{\sigma_\Theta + \sigma_{\bar{U}}} = \frac{2,2619 + 0,7368}{1,1872 + 0,2867} = 2,0345,$$

где $\sigma_\Theta = \frac{\Theta}{k \cdot \sqrt{3}} = \frac{2,2619}{1,1 \cdot \sqrt{3}} = 1,1872$ В

$\sigma_\Sigma = \sqrt{\sigma_\Theta^2 + \sigma_{\bar{U}}^2} = 1,2213$ В,

$\Delta = \pm 2,4847$ В.

После округления получаем $\Delta = \pm 2,5$ В.

С учетом погрешности результат измерения запишется в виде $U' = (219,3 \pm 2,5)$В с доверительной вероятностью $P = 0,95$.

7.2. Погрешности прямых однократных измерений

7.2.1. Порядок оценки

Порядок оценки погрешностей результатов прямых однократных измерений до 2005 г. регламентировали методические указания МИ 1552–86. С 01.01.2005 г. действуют рекомендации Р 50.2.038–2004 [54], которые устанавливают методы оценки погрешностей при условии, что составляющие погрешности результата измерения известны, случайные составляющие погрешности подчиняются нормальному закону распределения, а неисключенные систематические погрешности распределены равномерно.

Неисключенными систематическими составляющими погрешности результата однократного измерения Θ являются погрешности средств измерений, метода, вызванные другими источниками.

Неисключенные систематические погрешности (НСП) вычисляются по формуле (7.5). Порядок оценки НСП для однократных прямых измерений полностью совпадает с порядком оценки НСП для многократных прямых измерений.

При однократных измерениях невозможно оценить случайную составляющую погрешности результата измерения непосредственно по экспериментальным данным, поэтому требуются априорные предварительные сведения по случайным погрешностям. В противном случае может быть оценена только НСП по формуле (7.5).

Дополнительные предварительные сведения по случайным погрешностям результатов измерений могут представляться в виде средних квадратических отклонений σ_j отдельных составляющих (инструментальных, метода, оператора и т. д.) или в виде случайных погрешностей ε_j отдельных составляющих, соответствующих одной и той же доверительной вероятности P.

Если известны σ_j, то среднее квадратическое отклонение (СКО) результата однократного измерения σ вычисляется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} \sigma_j^2} \quad .$$

Если известны ε_j, то случайная погрешность результата однократного измерения ε вычисляется по формуле

$$\varepsilon = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} \varepsilon_j^2(P)} \quad .$$

При известном значении σ, полученном по формуле (7.11), случайная погрешность результата однократного измерения ε вычисляется по формуле

$$\varepsilon = \text{≢}\sigma \quad ,$$

где – коэффициент, зависящий от принятой доверительной вероятности P и закона распределения.

При нормальном законе распределения результатов измерений коэффициент ≢ = 2 для P = 0,95 и ≢ = 2,6 для P = 0,99 [54].

Суммарная погрешность результата измерения Δ определяется в зависимости от наличия (или отсутствия) априорных сведений о случайных погрешностях и от соотношения систематических и случайных составляющих погрешностей.

Если сведения о случайных погрешностях отсутствуют, то суммарная погрешность результата измерения Δ приравнивается к неисключенной систематической погрешности Θ, найденной с доверительной вероятностью *P*.

При наличии сведений о случайных погрешностях суммарная погрешность результата однократного измерения определяется с учетом следующих положений:

1) если $\frac{\Theta}{\sigma} < 0,8$, то неисключенной систематической погрешностью пренебрегают и принимают Δ = ε, где ε – случайная погрешность с доверительной вероятностью *P*;

2) если $\frac{\Theta}{\sigma} > 0,8$, то случайной погрешностью пренебрегают и принимают $\Delta = \Theta$;

3) если $0,8 \le \frac{\Theta}{\sigma} \le 8$, то погрешность результата измерения вычисляют по формуле

$$\Delta = \pm K[\,|\Theta| + |\varepsilon|\,],$$

где К – коэффициент, зависящий от принятой доверительной вероятности *P*.

Для доверительной вероятности *P* = 0,95 коэффициент *K* = 0,76; для доверительной вероятности *P* = 0,99 коэффициент *K* = 0,83.

Погрешности, возникающие из-за пренебрежения одной из составляющих погрешности результата измерения при выполнении указанных неравенств, не превышают 15 %.

При симметричной доверительной погрешности результат однократного измерения представляется в форме *A*; ±Δ; *P* или *A*±Δ; *P*.

Числовые значения результата измерения должны оканчиваться цифрами того же разряда, что и значение погрешности Δ.

7.2.2. Примеры расчета

В качестве примеров рассмотрены три задачи (задача 7.1, задача 7.2 и задача 7.3), отличающиеся друг от друга исходными данными.

Задача 7.1

Условие задачи

С помощью универсального цифрового вольтметра измерено напряжение сети. Результат измерения U = 218,62 В получен на пределе измерения $U_к$ = 1000 В. Класс точности вольтметра 0,5/0,1; нормальные условия эксплуатации: $\tau_0 = (20 \pm 2)\ ^\circ C$; H_0 =0 А/м .

Измерения проведены при τ = +24 ºС и $H = 20$ А/м, где τ – температура окружающей среды; H – напряженность внешнего магнитного поля.

Найти абсолютную погрешность результата измерения и записать результат с учетом найденной погрешности.

Решение задачи

Дополнительные погрешности использованного вольтметра определяются соотношениями

$$\Theta_\tau = \frac{\tau - \tau_0}{10} \cdot \Theta_{ос},$$

$$\Theta_H = \frac{H}{50} \cdot \Theta_{ос},$$

где Θ_τ – абсолютная дополнительная систематическая погрешность, возникающая при температуре окружающей среды, равной τ;

$\Theta_{ос}$ – абсолютная основная систематическая погрешность вольтметра, определяемая его классом точности;

Θ_H – абсолютная дополнительная систематическая погрешность, возникающая от воздействия на вольтметр магнитного поля H.

1. Относительная основная систематическая погрешность вольтметра, обусловленная его классом точности:

$$\delta_{oc} = \left[0{,}5 + 0{,}1\left(\frac{U_k}{U} - 1 \right) \right] \ \%,$$

$$\delta_{oc} = \left[0{,}5 + 0{,}1\left(\frac{1000}{218{,}62} - 1 \right) \right] \ \% \ = 0{,}8574 \ \%.$$

2. Абсолютная основная систематическая погрешность вольтметра, обусловленная его классом точности:

$$\Theta_{oc} = \frac{U}{100 \ \%} \cdot \delta_{oc} \ \%,$$

$$\Theta_{\text{ос}} = \frac{218{,}62}{100\%} \cdot 0{,}8574\% = 1{,}8743 \ \text{В}$$

3. Абсолютная дополнительная погрешность, обусловленная воздействием температуры:

$$\Theta_{\tau} = \frac{24 - 22}{10} \cdot 1{,}8743 = 0{,}3749 \ \text{В}$$

4. Абсолютная дополнительная погрешность, обусловленная воздействием магнитного поля:

$$\Theta_{\text{Н}} = \frac{20}{50} \cdot 1{,}8743 = 0{,}7497 \ \text{В}$$

5. Суммарная абсолютная систематическая погрешность вольтметра Θ определяется соотношением

$$\Theta = k \sqrt{\sum_{j=1}^{m} \Theta_j^2} \ ,$$

где $k = 1{,}1$ для доверительной вероятности $P = 0{,}95$;

Θ_j – j-я составляющая погрешности.

$$\Theta = 1{,}1 \cdot \sqrt{\Theta_{oc}^2 + \Theta_{\tau}^2 + \Theta_{H}^2} \ ,$$

$$\sqrt{\ \Theta = 1{,}1 \ \ 1{,}8743^2 + 0{,}3749^2} + 0{,}7497^2 \ = 2{,}1026 \ \ \text{В}.$$

6. При однократных измерениях и отсутствии сведений о случайных погрешностях за погрешность результата измерения Δ принимают суммарную

систематическую погрешность использованного средства измерения Θ. После округления получаем

$$\Delta = \Theta = \pm 2{,}1 \ B.$$

С учетом погрешности результат измерения запишется в виде

$$U' = (218{,}6 \pm 2{,}1) \ B, \ P = 0{,}95.$$

Задача 7.2

Исходное условие задачи 7.2 полностью совпадает с условием задачи 7.1. Дополнительно вводятся сведения о случайной погрешности. Предполагается, что с доверительной вероятностью $P = 0{,}95$ случайная погрешность $\varepsilon = 3{,}4248$ В.

Решение задачи

Абсолютная суммарная погрешность результата измерения Δ в этом случае оценивается соотношением

$$\Delta = \pm K\left(|\Theta| + |\varepsilon|\right),$$

где $K \approx 0{,}76$ для доверительной вероятности $P = 0{,}95$;

Θ – суммарная систематическая погрешность (см. задачу 7.1).

ε – случайная погрешность

$$\Delta = \pm 0{,}76(2{,}1026 + 3{,}4248) = \pm 4{,}2008 \ \text{В}.$$

После округления получаем $\Delta = \pm 4$ В.

С учетом погрешности результат измерения запишется в виде $U' = (219 \pm 4)\,\text{В}, \ P = 0{,}95$.

Задача 7.3

Исходное условие задачи 7.3 в основном совпадает с условием задачи 7.1. Дополнительно вводятся сведения о среднем квадратическом отклонении (СКО) средства измерения $\sigma_1 = 0{,}3782$ В и СКО оператора $\sigma_2 = 0{,}4202$ В.

Значения σ_1 и σ_2 найдены для $n_1 = 10$ и $n_2 = 20$, где n_1 и n_2 – числа измерений при экспериментальной оценке рассматриваемых величин (n_1 при оценке σ_1 и n_2 при оценке σ_2).

Решение задачи

Абсолютная неисключенная систематическая погрешность Θ, найденная в задаче 7.1, остается в силе и для данной задачи ($\Theta = 2{,}1026$ В).

При отсутствии корреляционной связи между величинами σ_1 и σ_2, суммарное среднее квадратическое отклонение σ:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{0{,}3782^2 + 0{,}4202^2} = 0{,}5653 \text{ В}$$

σ = 0,5653 В.

Абсолютная случайная погрешность результата измерений ε запишется в виде

$$\varepsilon = \text{Z} \cdot \sigma \ ,$$

где Z – коэффициент (Z=2,0 для $P = 0{,}95$).

$$\varepsilon = 2{,}0 \cdot 0{,}5653 = 1{,}130 \text{ В},$$

$$\varepsilon = 1{,}130 \text{ В}.$$

Абсолютная суммарная погрешность результата измерений Δ:

$$\Delta = \pm K(|\Theta| + |\varepsilon|) \ ,$$

где $K = 0{,}76$ для $P = 0{,}95$;

Θ – неисключенная систематическая погрешность;

ε – случайная погрешность.

Выражение для оценки «Δ» правомерно, если справедливо соотношение

$$0{,}8 \le \frac{\Theta}{\sigma} \le 8 \ .$$

Отношение $\frac{\Theta}{\sigma}$ имеет значение

$$\frac{\Theta}{\sigma} = \frac{2{,}1026}{0{,}5653} = 3{,}7194$$

т. е. приведенное выражение для оценки «Δ» правомерно.

$$\Delta = \pm 0{,}76(2{,}1026 + 1{,}130) = \pm 2{,}4572 \text{ В},$$

$$\Delta = \pm 2{,}4572 \text{ В}.$$

После округления $\Delta = \pm 2{,}5$ В.

С учетом погрешности результат измерения запишется в виде

$$U' = (218{,}6 \pm 2{,}5) \text{ В},$$

$$P = 0{,}95.$$

7.3. Погрешности косвенных измерений

Косвенное измерение – это измерение, при котором искомое значение величины находится по известной зависимости между этой величиной и величинами , подвергаемыми прямым измерениям. Напомним, что *прямое измерение* – это измерение, при котором искомая величина определяется непосредственно из эксперимента по показаниям средства измерений.

7.3.1. Порядок оценки погрешностей классическим методом

Ниже излагается порядок оценки погрешностей косвенных измерений классическим методом для одного и для нескольких аргументов, по которым определяется результат косвенного измерения.

Рассмотрим зависимость

$$y = f(x),$$

где y – результат косвенного измерения (функция);

x – результат прямого измерения (аргумент).

Предполагается, что погрешность измерения аргумента x известна и составляет величину $\pm\Delta_x$.

Погрешность измерения функции y обозначим через $\pm\Delta_y$ и найдем ее значение по известным значениям величин y, x и $\pm\Delta_x$.

С учетом погрешностей $\pm\Delta_x$ и $\pm\Delta_y$ выражение (7.15) принимает вид

$$y \pm \Delta y = f(x \pm \Delta_x).$$

Разложим правую часть равенства (7.16) в ряд Тейлора и, пренебрегая членами разложения, содержащими Δ_x в степени выше первой, получим

$$y \pm \Delta_y = f(x) + \Delta_x \frac{df(x)}{dx}.$$

Учитывая соотношение (7.15), получим для величин Δ_y выражение

$$\Delta_y = \pm\Delta_x \frac{df(x)}{dx},$$

где Δ_y – абсолютная погрешность результата косвенного измерения величины y;
Δ_x – абсолютная погрешность результата прямого измерения величины x.

Отметим, что выражение (7.18) является линейным приближением и в силу этого дает оценочные, приближенные значения погрешностей косвенных измерений. Допустимость использования соотношения (7.18) нормируется методическими указаниями МИ 2083–90 [48].

Относительная погрешность косвенного измерения δ_y определяется выражением

$$\delta_y = \pm\frac{\Delta_y}{y} = \pm\frac{\Delta_x}{y} \cdot \frac{df(x)}{dx},$$

или

$$\delta_y = \pm\frac{\Delta_y}{y} \cdot 100\% = \pm\frac{\Delta_x}{y} \cdot \frac{df(x)}{dx} \cdot 100\%,$$

т. е. относительная погрешность может выражаться относительными величинами (см. (7.19)) или величинами в процентах (см. (7.20)).

Рассмотрим результат косвенных измерений для случая с несколькими аргументами, т. е.

$$y = f(x, z, ..., t),$$

где $x, z, ..., t$ – результаты прямых измерений (аргументы);
y – результат косвенного измерения (функция).

Значение суммарной абсолютной погрешности косвенного измерения Δ_y в этом случае находится по формуле

$$\Delta_y = \pm\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \Delta_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 \Delta_z^2 + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)^2 \Delta_t^2}\ .$$

Значение суммарной относительной погрешности косвенного измерения δ_y для рассматриваемого случая находится по формуле

$$\delta_y = \pm\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \left(\frac{\Delta_x}{y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 \left(\frac{\Delta_z}{y}\right)^2 + \cdots + \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)^2 \left(\frac{\Delta_t}{y}\right)^2}\ .$$

В (7.22) и (7.23) значения Δ_x, Δ_z, … , Δ_t – суммарные абсолютные погрешности результатов прямых измерений величин *x*, *z*, ... ,*t*. Соотношения (7.22) и (7.23) правомерны при условии, что рассматриваемые погрешности независимы (отсутствует связь между ними) и являются случайными величинами.

Соотношение (7.22) рекомендуется использовать для оценки погрешностей результатов косвенных измерений при определении искомой величины путем алгебраического суммирования аргументов (например, для функций вида $y = x+z+t$).

Ниже приведен пример оценки искомой величины и погрешности ее косвенного измерения по соотношению (7.22).

Соотношение (7.23) рекомендуется использовать для оценки погрешностей результатов косвенных измерений при определении искомой величины путем умножения, деления или возведения в степень аргументов, подвергаемых прямым измерениям (например, для функций вида $y = \frac{x \cdot z^2}{t}$).

Ниже приведен пример оценки искомой величины и погрешности ее косвенного измерения по соотношению (7.23).

Формулы для вычисления суммарных абсолютных и относительных погрешностей результатов косвенных измерений приведены в табл. 7.1.

В таблице приняты те же обозначения, что уже использовались выше, т. е. Δ_x, Δ_z – абсолютные суммарные погрешности результатов прямых измерений величин *x* и *z*; δ_x, δ_z – относительные суммарные погрешности результатов

прямых измерений величин x и z; Δ_y и δ_y – абсолютные и относительные суммарные погрешности результата косвенного измерения величины y.

Таблица 7.1

Погрешности косвенных измерений

Функция (y)	**Погрешности**	
	абсолютная (Δ_y)	**относительная (δ_y)**
$x + z$	$\pm\left[\Delta_x^2 + \Delta_z^2\right]^{1/2}$	$\pm\dfrac{\left[\Delta_x^2 + \Delta_z^2\right]^{1/2}}{x+z}$
$x - z$	$\pm\left[\Delta_x^2 + \Delta_z^2\right]^{1/2}$	$\pm\dfrac{\left[\Delta_x^2 + \Delta_z^2\right]^{1/2}}{x-z}$
$x \cdot z$	$\pm\left[x^2\Delta_z^2 + z^2\Delta_x^2\right]^{1/2}$	$\pm\left[\delta_x^2 + \delta_z^2\right]^{1/2}$
x/z	$\pm\dfrac{\left[x^2\Delta_z^2 + z^2\Delta_x^2\right]^{1/2}}{z^2}$	$\pm\left[\delta_x^2 + \delta_z^2\right]^{1/2}$
x^n	$\pm nx^{n-1}\Delta_x$	$\pm n\delta_x$
$\sqrt[n]{x}$	$\pm\dfrac{1}{n}x^{\frac{1}{n}-1}\Delta_x$	$\pm\dfrac{1}{n}\delta_x$
$\sin x$	$\pm\Delta_x\cos x$	$\pm\Delta_x\,\mathrm{ctg}x$
$\mathrm{tg}x$	$\pm\dfrac{\Delta_x}{(\cos x)^2}$	$\pm\dfrac{2\cdot\Delta_x}{(\sin 2x)^2}$
$\cos x$	$\pm\Delta_x\sin x$	$\pm\Delta_x\,\mathrm{tg}x$
$\mathrm{ctg}x$	$\pm\dfrac{\Delta_x}{(\sin x)^2}$	$\pm\dfrac{2\cdot\Delta_x}{\sin 2x}$
$\mathrm{arctg}\,x$	$\pm\dfrac{\Delta_x}{(1+x^2)}$	$\pm\dfrac{\Delta_x}{(1+x^2)\mathrm{arctg}x}$

Изложенный порядок оценки значений погрешностей результатов косвенных измерений может быть использован при известных значениях суммарных погрешностей результатов прямых измерений, по которым вычисляются результаты косвенных измерений. В случае же, когда известны составляющие (систематические и случайные) погрешностей результатов прямых измерений,

необходимо воспользоваться рекомендациями, изложенными ниже в п. 7.3.2 учебного пособия.

7.3.2. Порядок оценки погрешностей по МИ 2083–90

Сформулируем основные положения, используемые при оценке погрешностей косвенных измерений по МИ 2083–90 [48].

Искомое значение величины A находится на основании результатов прямых измерений аргументов b, c, ..., s, связанных с искомой величиной уравнением

$$A = F(b, c, ..., s). \qquad (7.24)$$

Для оценивания косвенно измеряемой величины и погрешностей результата измерения принято одно из допущений:

1) зависимость (7.24) линейная и отсутствует корреляция между погрешностями измерений аргументов;

2) зависимость (7.24) нелинейная, отсутствует корреляция между погрешностями измерений аргументов и допустим метод линеаризации рассматриваемой зависимости.

Случай для коррелированных погрешностей измерений аргументов и при недопустимости использования метода линеаризации зависимости (7.24) в данном учебном пособии не рассматривается. При необходимости этот материал может быть изучен самостоятельно (см. [21, 48]).

Предположим, что проведено n прямых измерений аргументов b, c, ..., s. Первому измерению соответствует значение, равное A_1, второму измерению – A_2 и т. д. Среднее арифметическое значение $\overline{A}$ и среднее квадратическое отклонение σ результатов косвенных измерений вычисляются по формулам

$$\overline{A} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} A_i ,$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(A_i - \overline{A}\right)^2}{n-1}} ,$$

где n – число измерений;

A_i – i-е значение результата косвенного измерения.

Дальнейшая обработка данных проводится в нижеследующей последовательности.

1. По значениям $\bar{x}$ и σ выявляются и отбрасываются промахи. При этом предполагается, что результаты косвенных измерений A_i подчиняются нормальному закону распределения, т. е. для выявления промахов могут быть использованы как метод 3σ, так и табличный метод (оба метода описаны в п. 4.2 учебного пособия).

2. Вычисляется СКО среднего арифметического значения по формуле

$$\sigma_{\bar{A}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}.$$

3. Оценивается абсолютная случайная составляющая погрешности результата косвенного измерения искомой величины по формуле

$$\varepsilon = t \cdot \sigma_{\bar{A}},$$

где ε – случайная составляющая погрешности;

t – коэффициент Стьюдента.

4. Оценивается абсолютная неисключенная систематическая составляющая погрешности результата косвенного измерения искомой величины по формуле

$$\Theta = k \cdot \sqrt{\Theta_b^2\left[\frac{\partial F}{\partial b}\right]^2 + \Theta_c^2\left[\frac{\partial F}{\partial c}\right]^2 + \ldots + \Theta_s^2\left[\frac{\partial F}{\partial s}\right]^2},$$

где Θ – абсолютная неисключенная систематическая составляющая погрешности результата косвенного измерения;

k – коэффициент, зависящий от принятой доверительной вероятности и числа слагаемых (подробно см. в п. 7.1 учебного пособия);

Θ_b, Θ_c, ..., Θ_s – абсолютные неисключенные систематические составляющие погрешностей результатов прямых измерений аргументов *b*, *c*, ..., *s*;

$\frac{\partial F}{\partial b}, \frac{\partial F}{\partial c}, \frac{\partial F}{\partial s}$ – частные производные от функции (7.24) по *b*, *c*, ..., *s*.

Отметим, что при задании зависимости (7.24) в виде алгебраической суммы аргументов *b, c, ..., s* удобнее оценивать абсолютную составляющую погрешности Θ по формуле (7.29).

Если же зависимость (7.24) представляет собой произведение и (или) отношение аргументов *b, c,..., s,* то удобнее оценивать относительную неисключенную систематическую составляющую результата косвенного измерения величины *A* по формуле

$$\upsilon = k \cdot \sqrt{\left[\frac{\theta_b}{A}\right]^2 \left[\frac{\partial F}{\partial b}\right]^2 + \left[\frac{\theta_c}{A}\right]^2 \left[\frac{\partial F}{\partial c}\right]^2 + \ldots + \left[\frac{\theta_s}{A}\right]^2 \left[\frac{\partial F}{\partial s}\right]^2},$$

где υ – относительная неисключенная систематическая составляющая погрешности (υ может выражаться в процентах или в виде относительной величины).

Величины Θ и υ связаны между собой соотношениями

$$\Theta = \frac{\overline{A}}{100\,\%} \cdot \upsilon\,\%,$$

$$\Theta = \overline{A} \cdot \upsilon\,.$$

Соотношение (7.31) используется при выражении υ в процентах, а соотношение (7.32) – при выражении υ в виде относительной величины.

5. Оценивается абсолютная погрешность результата косвенного измерения искомой величины $\overline{A}$ по формуле

$$\Delta = \pm K(|\Theta| + |\varepsilon|),$$

где Δ – абсолютная погрешность результата косвенного измерения;

K – коэффициент, зависящий от принятой доверительной вероятности и от отношения $\Theta / \sigma_{\overline{A}}$ (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Значения коэффициента К = $f\left(p, \theta / \delta_{\overline{A}}\right)$

$\theta / \sigma_{\overline{A}}$	0,8	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
$K_{0,95}$	0,76	0,74	0,71	0,73	0,76	0,78	0,79	0,80	0,81
$K_{0,99}$	0,84	0,82	0,80	0,81	0,82	0,83	0,83	0,84	0,85

Для приближенных расчетов можно принять $K = 0{,}80$ при доверительной вероятности $P = 0{,}95$ и $K = 0{,}85$ при доверительной вероятности $P = 0{,}99$.

Относительные погрешности результата косвенного измерения определяются по формулам

$$\delta' = \frac{\Delta}{\overline{A}} \cdot 100\ \%,$$

$$\delta = \frac{\Delta}{\overline{A}}.$$

Соотношение (7.34) используется при выражении относительной погрешности в процентах, а соотношение (7.35) – при выражении δ в относительных величинах.

6. Результат косвенного измерения и его погрешность представляют в виде

$$\left(\overline{A} \pm \Delta\right),\ P,$$

где $\overline{A}$ – результат косвенного измерения;

$\pm\ \Delta$ – значение абсолютной погрешности;

P – принятая доверительная вероятность.

Допускается также представление результатов косвенных измерений в виде

$$\overline{A};\ \sigma_{\overline{A}};\ n;\ \Theta(P),$$

где $\sigma_{\overline{A}}$ – среднее квадратическое отклонение среднего арифметического значения (СКО результата косвенного измерения);

n – число измерений;

$\Theta(P)$ – абсолютная неисключенная систематическая составляющая погрешности результата косвенного измерения, полученная с доверительной вероятностью P.

При необходимости кроме абсолютных погрешностей могут быть приведены относительные погрешности в соответствии с соотношением (7.34) или (7.35).

7.3.3. Примеры расчета

В качестве примеров рассмотрены три задачи (задача 7.4, задача 7.5 и задача 7.6) по оценке погрешностей косвенных измерений. Первые две задачи решены классическим методом, а третья – в соответствии с рекомендациями методических указаний МИ 2083–90 [48].

Рассмотрим пример оценки погрешности косвенного измерения по формуле (7.18).

Задача 7.4

Условие задачи

Найти площадь квадрата *S* и абсолютную суммарную погрешность ее косвенного измерения Δ(s), если результат прямого измерения стороны квадрата равен «*a*» и абсолютная суммарная погрешность этого измерения составляет «Δ(*a*)».

Решение задачи

Площадь квадрата $S = a^2$.

Абсолютная суммарная погрешность косвенного измерения площади квадрата оценивается соотношением

$$\Delta(S) = \Delta(a) \cdot \frac{dS(a)}{da} = \Delta(a) \cdot \frac{d(a^2)}{da} = \Delta(a) \cdot 2a\,;$$

$$\Delta(S) = \Delta(a) \cdot 2a\,.$$

Относительная суммарная погрешность косвенного измерения площади квадрата соответственно:

$$\delta(S) = \frac{\Delta(S)}{S} = \frac{2a \cdot \Delta(a)}{a^2} = 2 \cdot \delta(a)\,,$$

где $\delta(a) = \frac{\Delta(a)}{a}$ – относительная суммарная погрешность прямого измерения стороны квадрата.

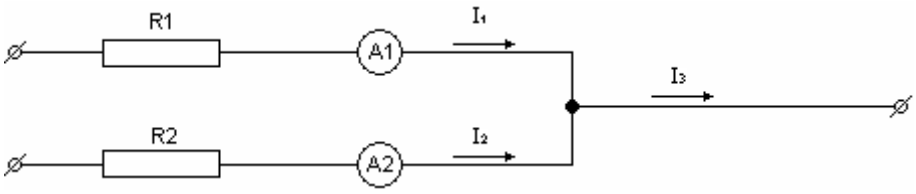
$$\delta(S) = 2 \cdot \delta(a).$$

Отметим, что суммарные относительные погрешности $\delta(S)$ и $\delta(a)$ могут выражаться в относительных величинах, как в примере, или в процентах (см. соотношение (7.20)).

Задача 7.5

Условие задачи

Найти значение тока I_3 и абсолютную суммарную погрешность его косвенного измерения по приведенной схеме.



Значения токов I_1 и I_2 , полученные путем прямого измерения с помощью амперметров $A1$ и $A2$, заданы. Заданы также абсолютные суммарные погрешности измерения этих токов Δ_1 и Δ_2 (соответственно).

Решение задачи

Значение тока I_3 (по первому закону Кирхгофа):

$$I_3 = I_1 + I_2.$$

Абсолютная суммарная погрешность Δ_3 косвенного измерения тока I_3 запишется в виде

$$\Delta_3 = \pm\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial I_1}\right)^2 \cdot \Delta_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial I_2}\right)^2 \cdot \Delta_2^2}\ .$$

$$\frac{\partial f}{\partial I_1} = \frac{\partial(I_1 + I_2)}{\partial I_1}. = \frac{\partial I_1}{\partial I_1} + \frac{\partial I_1}{\partial I_2} = 1 + 0 = 1.$$

$$\frac{\partial f}{\partial I_2} = \frac{\partial(I_1 + I_2)}{\partial I_2}. = \frac{\partial I_1}{\partial I_2} + \frac{\partial I_2}{\partial I_2} = 0 + 1 = 1.$$

$$\Delta_3 = \pm\sqrt{1^2 \cdot \Delta_1^2 + 1^2 \cdot \Delta_2^2} \ = \pm\sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}.$$

$$\Delta_3 = \pm\sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}.$$

Относительные суммарные погрешности косвенного измерения тока I_3 соответственно:

$$\delta_3 = \frac{\Delta_3}{I_3};\ \ \delta_3' = \frac{\Delta_3}{I_3} \cdot 100\%,$$

т. е. относительная суммарная погрешность, как уже отмечалось, может выражаться в относительных величинах или в процентах.

Задача 7.6

Условие задачи

Методом вольтметра и амперметра в нормальных условиях эксплуатации проведено измерение электрического сопротивления *R*. Класс точности вольтметра 0,5; предел его измерения U_k = 30 В. Класс точности миллиампермет-ра (1,0). Значения прямых измерений напряжения *U* и тока *I*, а также текущие значения косвенного измерения искомого сопротивления *R* приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Результаты измерений

Параметры	**Номер измерения**			
	1	**2**	**3**	**4**
U, В	18,0	20,5	19,8	21,2
I, мА	530	610	590	630
R, Ом	33,9623	33,6066	33,5593	33,6508

Найти результат и погрешность косвенного измерения сопротивления R и записать результат косвенного измерения с учетом найденной погрешности.

Решение задачи

1. Текущие значения косвенного измерения электрического сопротивления определяются по закону Ома соотношением

$$R = \frac{U}{I},$$

где $U; I$ – значения напряжения и тока, приведенные в табл. 7.3;

R – искомая величина.

2. Среднее арифметическое значение сопротивления $\overline{R}$, принимаемое за результат косвенного измерения искомой величины, запишется в виде

$$R = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} R = 33,6948 \text{ Ом}$$

где n – число измерений (n = 4);

R_i – результат i-го измерения (см. табл. 7.3).

3. Среднее квадратическое отклонение σ имеет следующее значение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(R_i - \overline{R})^2}{n-1}} = 1{,}1822 \text{ Ом}$$

где R_i, $\overline{R}$, n – определены выше.

4. Выявление промахов детально рассмотрено в параграфе 4.2 и в силу этого при решении данной задачи не проводится. Отметим только, что в приведенном ряду косвенных измерений сопротивления R промахи отсутствуют.

5. Среднее квадратическое отклонение результата измерения $\sigma_{\overline{R}}$ имеет следующее значение:

$$\sigma_{\overline{R}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0{,}1822}{\sqrt{4}} = 0{,}0911 \text{ Ом}$$

6. Случайная абсолютная погрешность результата измерения ε:

$$\varepsilon = t \cdot \sigma_{\overline{R}} = 3{,}18 \cdot 0{,}0911 = 0{,}2898 \text{ Ом}$$

где t – коэффициент Стьюдента ($t = 3{,}18$ для доверительной вероятности P = 0,95 и числа измерений n = 4).

7. Относительная инструментальная погрешность измерения напряжения U (см. табл. 7.3) оценивается соотношением

$$\delta_V = \frac{U_k}{U_{\min}} \cdot \gamma\%,$$

где δ_V – относительная инструментальная погрешность измерения напряжения;

U_k – верхний предел шкалы вольтметра;

$U_{\min}$ – минимальное показание вольтметра;

γ – приведенная погрешность вольтметра, определяемая его классом точности (γ = ±0,5%).

$$\delta_V = \frac{30}{18{,}0} \cdot 0{,}5\% = 0{,}8333\%.$$

8. Относительная неисключенная систематическая погрешность (НСП) результата измерений запишется в виде

$$\upsilon = k\sqrt{\delta_V^2 + \delta_A^2}\ ,$$

где υ – относительная НСП результата измерения;

k – коэффициент ($k = 1{,}1$ для доверительной вероятности $P = 0{,}95$ и $m = 2$, где P – доверительная вероятность, m – число слагаемых под корнем);

δ_A – относительная инструментальная погрешность измерения тока, определяемая классом точности миллиамперметра ($\delta_A = 1{,}0\%$),

$$\upsilon = 1{,}1 \cdot \sqrt{0{,}8333^2 + 1{,}0^2} = 1{,}3017\ \%\ .$$

9. Абсолютная неисключенная систематическая погрешность результата измерения Θ запишется в виде

$$\Theta = \frac{\overline{R}}{100\%} \cdot \upsilon\% = \frac{33{,}6948}{100} \cdot 1{,}3017 = 0{,}4386\ \text{Ом}$$

10. Абсолютная суммарная погрешность результата измерений Δ оценивается соотношением

$$\Delta = \pm K\left(|\Theta| + |\varepsilon|\right),$$

где K – коэффициент ($K \approx 0{,}80$ для доверительной вероятности $P = 0{,}95$);

$$\Delta = \pm 0{,}80(|0{,}4386| + |0{,}2898|) = \pm 0{,}5827\ \text{Ом}$$

После округления получаем $\Delta' = \pm 0{,}6\ \text{В}$.

11. Относительная суммарная погрешность результата измерения δ оценивается соотношением

$$\delta = \pm\frac{\Delta}{\overline{R}} \cdot 100\% = \pm\frac{0{,}5827}{33{,}6978} \cdot 100 = \pm 1{,}7293\%\ .$$

После округления: $\delta' = \pm 1{,}7\ \%$.

12. С учетом погрешности результат измерения запишется в виде

$$U' = (33{,}7 \pm 0{,}6)\ \text{Ом}.$$

7.4. Неопределенности измерений

По инициативе ряда международных метрологических организаций предложена новая концепция для показателя точности результатов измерений. В основе этой концепции лежит отказ от принятого сейчас понятия «погрешность» и переход на новый показатель точности «неопределенность». Стимулировало такой подход, видимо, несоответствие принятого определения понятия «погрешность» и установившегося порядка практической оценки погрешностей результатов измерений. Терминологические межгосударственные рекомендации РМГ 29–99 [53] дают следующее определение понятия погрешности результата измерения: «*Погрешность результата измерения* – это отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины».

Далее в рекомендациях [53] отмечается, что истинное значение величины неизвестно и его применяют только в теоретических исследованиях. На практике используют действительное значение измеряемой величины, за которое принимают номинальное значение эталона или образцового средства измерения (СИ).

Следует отметить, что на практике при измерении искомой величины действительное значение этой величины неизвестно. Более того, возникает законный вопрос: зачем проводить измерение, если действительное значение измеряемой величины уже известно. Ответ очевиден: проводить измерение в этом случае не имеет смысла. Другими словами, реализовать практическую оценку погрешности результата измерения непосредственно из определения [53] невозможно. Практическая оценка погрешностей прямых многократных измерений проводится в соответствии с требованиями ГОСТ 8.207–76 [46], оценка погрешностей прямых однократных измерений – в соответствии с рекомендациями Р50.2.038–2004 [54] и оценка погрешностей косвенных измерений – в соответствии с рекомендациями МИ 2083–90 [48]. В нормативных документах [46; 48; 54] для оценки погрешностей истинное (действительное) значение измеряемой величины не используется. Оценка погрешностей по [46; 48; 54] никак не увязывается с определением термина «погрешность». Складывается впечатле-

ние, что определение погрешности существует само по себе, а найденные по [46; 48; 54] величины, непосредственно не связанные с погрешностью по [53] и также называемые погрешностями, существуют сами по себе. Напрашивается вывод о необходимости изменить определение понятия «погрешность результата измерения» или изменить порядок оценки погрешности, увязав его с истинным (действительным) значением измеряемой величины.

Авторы замены погрешности на неопределенность пошли по первому пути. Они отказались от показателя точности – «погрешность результата измерения» и предложили новый показатель точности – «неопределенность результата измерений». Рекомендации [53] дают следующее определение понятию неопределенность: «*Неопределенность измерений* – это параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине». Как видно, в этом определении нет понятий «истинного (действительного) значения измеряемой величины». Приведенные выше рассуждения свидетельствуют, что этого понятия в данном случае и не должно быть. Повторим еще раз, что существующие методы оценки погрешностей результатов измерений непосредственно не используют понятие «истинное (действительное) значение измеряемой величины». Не требуют знания этой величины и методы оценки неопределенностей измерений. Последнее послужило поводом утверждать, что авторы «неопределенностей» отвергают понятие истинного (действительного) значения измеряемой величины. Да, отвергают, но только в данном, конкретном случае при оценивании неопределенностей результатов измерений. И с этим можно согласиться. Все меняется коренным образом, если речь идет о погрешностях средств измерений. По определению [53]: «*Погрешность средства измерений* – это разность между показанием средства измерений и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины». В данном случае «истинное (действительное) значение» вполне уместно. Более того, экспериментальная оценка погрешностей средств измерений невозможна без использования эталонов или образцовых средств. Напомним, что номинальное значение эталона или образ-

цового средства измерения принимают за действительное значение измеряемой величины. Не противоречит сказанному и принятый порядок оценки погрешностей средств измерений в соответствии с требованиями нормативных документов (ГОСТ 8.009–84 [44] и ГОСТ 8.508–84 [47]). Таким образом, заменять понятие «погрешность средства измерения» на понятие «неопределенность средства измерения», со всеми вытекающими отсюда последствиями, не следует.

Порядок оценки неопределенностей изложен в руководстве по выражению неопределенностей результатов измерений [41] и нормативно закреплен в рекомендациях РМГ 43–2001 [42].

В соответствии с [41, 42] неопределенность подразделяют на две составляющие: неопределенность типа А и неопределенность типа В. Неопределенность типа А оценивается статистическими методами и описывает случайные отклонения при повторных измерениях. Неопределенность типа В оценивается в основном другими способами, отличными от статистических, и близка по своей сути к неисключенным систематическим погрешностям.

Говоря о «близости» неопределенностей и погрешностей результатов измерений следует помнить, что термины «неопределенность» и «погрешность» – не синонимы и представляют собой различные понятия; их не следует путать друг с другом или заменять одно понятие другим.

Рассмотрим порядок оценки неопределенностей при проведении прямых многократных измерений. Предполагаем, что получен ряд значений x_1, x_2, x_n при измерении физической величины с помощью прибора, метрологические характеристики которого известны. Считаем также, что известна методическая погрешность измерения, известен закон распределения результатов измерений и задана доверительная вероятность, с которой должны быть найдены рассматриваемые величины.

Неопределенности типа А

Для оценки неопределенностей типа А проводятся следующие расчеты:

1) вычисляется среднее арифметическое значение результатов измерений:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i, \qquad (7.37)$$

где $\bar{x}$ – среднее арифметическое, принимаемое за результат измерения;

x_i – результат i-го измерения;

n – число измерений;

2) вычисляется стандартная неопределенность результатов однократных измерений:

$$u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \qquad (7.38)$$

где u – стандартная неопределенность;

3) вычисляется стандартная неопределенность типа А:

$$u_A = \frac{u}{\sqrt{n}}, \qquad (7.39)$$

где u_A – стандартная неопределенность результата измерений типа А.

Полученное значение u_A характеризует случайную составляющую неопределенности результата измерений. Расчет случайной неопределенности руководством [41] и рекомендациями [42] не предусматривается.

Неопределенности типа В

В качестве исходных данных для вычисления неопределенностей типа В используют:

1) сведения о виде распределения вероятностей;

2) неопределенности констант и справочных данных;

3) сведения изготовителя о средстве измерения;

4) данные поверки и калибровки средства измерения;

5) данные о методе измерения;

6) опытные данные о поведении и свойствах соответствующих приборов и материалов и т. п.

Точностные характеристики исходных данных обычно представляют в виде неисключенных систематических погрешностей. При этом предполагается, что рассматриваемые величины подчиняются равномерному закону распределения.

Для оценки неопределенности типа В проводятся следующие расчеты:

1) вычисляются составляющие неопределенности типа В по формуле

$$u_{B_j} = \frac{\theta_j}{\sqrt{3}} \tag{7.40}$$

где u_{B_j} – j-я составляющая стандартной неопределенности типа В;

θ_j – j-я составляющая неисключенной систематической погрешности результата измерения;

2) вычисляется стандартная неопределенность типа В:

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^{m} u_{B_j}^2}, \tag{7.41}$$

где u_B – стандартная неопределенность типа В;

m – число слагаемых;

3) вычисляется суммарная стандартная неопределенность

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}, \tag{7.42}$$

где u_C – суммарная стандартная неопределенность;

u_A и u_B – определены выше;

4) вычисляется расширенная неопределенность

$$U_P = k_p \cdot u_c, \tag{7.43}$$

где U_P – расширенная неопределенность результата измерений для доверительной вероятности P;

k_p – коэффициент, зависящий от принятой доверительной вероятности и закона распределения результатов измерений;

u_C – определено выше.

Во многих практических случаях при вычислении неопределенностей результатов измерений делают предположение о нормальности закона распределения возможных значений измеряемой величины и полагают:

$k_p = 2$ для $P = 0{,}95$ и $k_p = 3$ для $P = 0{,}99$.

При предположении о равномерности закона распределения полагают:

$k_p = 1{,}65$ для $P = 0{,}95$ и $k_p = 1{,}71$ для $P = 0{,}99$.

Окончательно результат измерения T может быть представлен в виде $(\bar{x} - U_p) \le T \le (\bar{x} + U_p)$ или $(\bar{x} \pm U_p)$ с доверительной вероятностью P.

При описании результатов измерений руководство [41] рекомендует приводить достаточное количество информации для возможности проанализировать или повторить весь процесс получения результата измерений и вычисления неопределенностей результата измерений, а именно:

1) алгоритм получения результата измерений;

2) алгоритм вычисления всех поправок и неопределенностей;

3) неопределенности всех используемых данных и способы их получения;

4) алгоритмы вычисления суммарной и расширенной неопределенностей (включая значение коэффициента k_p).

Отношение отечественных метрологов к предложениям, изложенным в руководстве [41], значительно изменилось за последнее время. Первые отклики на замену погрешностей неопределенностями были резко отрицательными [43]. Главные критические замечания касались предполагаемого отказа от понятия истинного (действительного) значения измеряемой величины, замены понятия «погрешность» на понятие «неопределенность», необходимости переработки многочисленных нормативных документов и применения новой терминологии и методики оценивания неопределенности результатов измерений. Особенно большая критика досталась «неопределенности типа В», призванной заменить неисключенную систематическую погрешность.

В последнее время отношение к руководству [41] несколько изменилось [40]. Многие метрологи склоняются к мнению, что понятие «неопределенность результата измерения» надо постепенно вводить в практику, но пока не вместо понятия «погрешность результата измерения», а наряду с ним. По нашему мнению, понятие «неопределенность» может успешно применяться в качестве показателя точности результата измерений. При этом, правда, потребуется значительная доработка руководства [41], РМГ 43–2001 [42] и разработка новых нормативных документов. Особенно большие изменения, видимо, должны быть сделаны в части применения понятия «неопределенность типа В». Что же касается средств измерений, то здесь пока должна быть сохранена традиционная терминология: «погрешность» и «истинное (действительное) значение измеряемой величины». Распространять понятие «неопределенность» в существующем виде на точностные характеристики средств измерений не представляется возможным.

Таким образом, целесообразно, видимо, использовать в практической работе два показателя точности: неопределенность результатов измерений и погрешность средств измерений[67; 68].

8. ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

8.1. Общие положения

Измерения физических величин осуществляются, как правило, путем преобразования измеряемых величин в целях приведения их к виду, удобному для считывания, обработки и представления получаемой измерительной информации. Измеряемые величины при этом часто преобразуются в величины другой физической природы [1–9].

Например, при измерении температуры ртутным термометром измеряемая температура преобразуется в длину столбика ртути. Больше температура – и больше длина столбика ртути, меньше температура – и столбик ртути меньше. Таким образом, о значении температуры судят по длине столбика ртути. Здесь измеряемая величина одной физической природы («температура») для

определения ее искомого значения преобразуется в физическую величину другой природы («длину» столбика ртути). Можно привести и другие примеры. Так, измерение давления газа с помощью трубчатого манометра осуществляется за счет деформации (скручивания или раскручивания) трубчатой пружины под воздействием измеряемого давления газа. Скручивание (или раскручивание) трубчатой пружины передается указательной стрелке, перемещающейся вдоль оцифрованной шкалы манометра, с которой и производится отсчет показаний. Таким образом, для измерения давления газа проводится целый ряд последовательных преобразований, что и позволяет в итоге оценить значение искомой величины. Измерение расхода жидкости можно провести, например, оценивая перепад давления на специальном сужающем устройстве, т. е. в этом случае расход жидкости преобразуется в перепад давления, измерение которого и дает значение искомой величины.

При проведении технических измерений неэлектрических величин (температуры, давления, расхода и т. д.) эти величины, довольно часто, преобразуют в электрические величины, которые и подвергаются дальнейшим преобразованиям и измерениям (рис. 8.1).

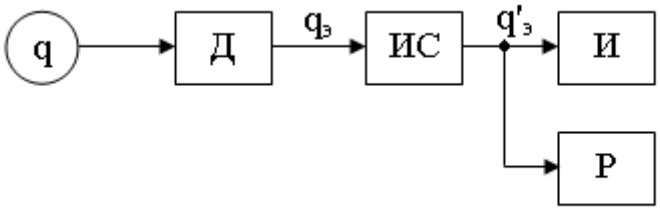


Рис. 8.1. Структура устройства при электрических измерениях неэлектрических величин: q – измеряемая неэлектрическая величина; $q_э$,$q'_э$ – электрические величины; Д – датчик; ИС – измерительная схема; И – измеритель (средство измерения электрической величины); Р – регистратор (регистратор электрической величины)

Датчик Д преобразует измеряемую неэлектрическую величину q в электрическую $q_э$. Эта величина в общем случае может быть преобразована в измерительной цепи (ИС) в другую электрическую величину $q'_э = f(q_э)$. При этом величина $q_э$ может быть усилена или ослаблена, преобразована из аналоговой величины в дискретную или из дискретной в аналоговую и т. д. Полученная величина $q'_э$ подвергается измерению или регистрации с помощью электрических

средств, а также может быть передана по линии связи на значительное расстояние для дальнейшей обработки и использования. Обработка величин $q'_э$ может проводиться с использованием универсальных ЭВМ или специализированных вычислительных устройств.

Измерения неэлектрических величин электрическими методами имеют ряд отличительных достоинств, к которым можно отнести:

1) возможность измерять малые значения искомых величин;

2) использовать электронные усилители, что дает возможность измерять такие сигналы, которые невозможно измерить другими методами;

3) возможность дистанционно измерять параметры искомых величин;

4) возможность дистанционно управлять как производственными, так и другими процессами;

5) возможность использовать высокоточную и малоинерционную электроизмерительную аппаратуру;

6) возможность комплектовать различные измерительные установки однотипными электрическими блоками;

7) возможность широко использовать современную вычислительную технику в измерительных системах.

В последующих параграфах учебного пособия подробно рассмотрены элементы, составляющие измерительное устройство, структура которого приведена на рис. 8.1. Так, отдельные параграфы пособия посвящены датчикам, измерительным схемам, электроизмерительным приборам и методам измерения конкретных физических величин, наиболее часто встречающихся в практике технических измерений.

8.2. Датчики

Основное назначение датчиков, применяемых при измерениях физических величин, заключается в восприятии и преобразовании исследуемых величин в вид, удобный для дальнейшего использования.

Следует отметить, что в настоящее время не существует единого и общепринятого определения термина «датчик».

Одни авторы рассматривают датчик как простейший элемент, осуществляющий преобразование неэлектрической величины в электрическую. Другие авторы, например в [1–3, 32], вообще избегают использовать термин «датчик» и заменяют его термином «первичный измерительный преобразователь». В [32] отмечается, правда, что кроме термина «первичный измерительный преобразователь» используется близкий к нему термин – «датчик». При этом под *датчиком* подразумевается один или несколько измерительных преобразователей, служащих для преобразования измеряемой неэлектрической величины в электрическую и объединенных в единую конструкцию. Аналогичную позицию занимают авторы учебника [1], в котором отмечается, что первичные измерительные преобразователи, размещаемые непосредственно на объекте исследования и удаленные от места обработки, отображения и регистрации измерительной информации, называют иногда датчиками. При изложении материала в [1] термин «датчик» не используется. Вместо него фигурируют термины «измерительный преобразователь» и «преобразователь». В учебном пособии [3] автор применяет термин «измерительный преобразователь», но не отказывается и от термина «датчик», под которым понимает конструктивную совокупность ряда измерительных преобразователей, размещаемых непосредственно у объекта измерения. Есть авторы, которые считают, что датчик должен выполнять ряд преобразований одних величин в другие, усиливать и распределять сигналы и производить некоторые вычислительные операции.

Международный электротехнический словарь дает следующее определение термина «датчик»: «*Датчик* – это измерительный орган, включающий наряду с чувствительным элементом усилитель или преобразователь сигнала, видоизменяющий форму выходного сигнала в соответствии с заданной».

На основании изложенного можно сформулировать основные положения, которые необходимо учесть при определении термина «датчик».

Датчик как функциональный элемент измерительной системы должен воспринимать и преобразовывать измеряемую величину, и его можно рассматривать как устройство, состоящее из воспринимающего (чувствительного) эле-

мента и промежуточных преобразователей. Вопрос заключается в том, какие преобразователи относить к датчикам, а какие – к другим функциональным элементам устройства. Исходя из этого, можно дать следующее определение: датчиком называется конструктивно единый измерительный преобразователь измеряемой неэлектрической величины в электрическую. Такое определение правомерно применительно к задаче электрических измерений неэлектрических величин.

Термин «датчик» обычно применяют в сочетании с физической величиной, для преобразования которой он предназначен: датчик температуры, датчик давления, датчик ускорения и т. д. Датчики могут выполняться как в виде простейших по устройству и схеме функциональных элементов (термопары, проволочные тензодатчики и т. п.), так и в виде более сложных устройств, состоящих из ряда самостоятельных элементов (например, датчик давления, состоящий из упругого элемента, рычажной системы и переменного электрического сопротивления; в этом случае измеряемое давление воздействует на упругий элемент, который через рычажную систему перемещает движок переменного сопротивления, и, таким образом, давление преобразуется в электрическое сопротивление). Необходимость разработки и применения сложных датчиков обусловлена главным образом тем, что они позволяют получить большие, чем простейшие датчики, чувствительность, точность и линейность преобразования.

8.3. Измерительные схемы

Измерительные схемы служат для включения датчиков, что необходимо для их нормальной работы. В простейшем случае роль измерительных схем могут выполнять соединительные провода (например, при подключении термопары к измерительному прибору, когда не используются какие-либо согласующие или усилительные устройства). В более сложных случаях измерительные схемы могут быть достаточно сложными устройствами и содержать в своем составе, например, усилители, генераторы, компенсаторы и т. д. Часто в качестве таких устройств используются равновесные и неравновесные мостовые измерительные схемы, которые могут быть как постоянного, так и переменного тока.

Наибольшее распространение получили следующие схемы включения датчиков: токовые, потенциальные и частотные.

Пример токовой схемы включения датчиков приведен на рис. 8.2, а на рис. 8.3 приведен график статической характеристики для этой схемы.

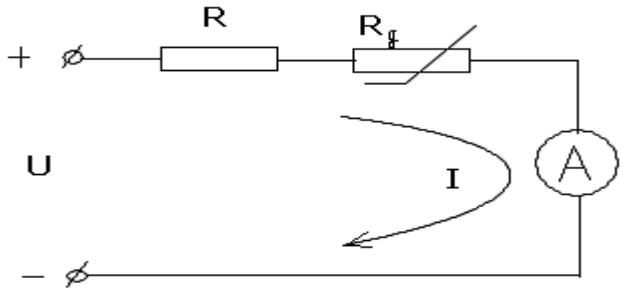


Рис. 8.2. Пример токовой схемы включения датчиков

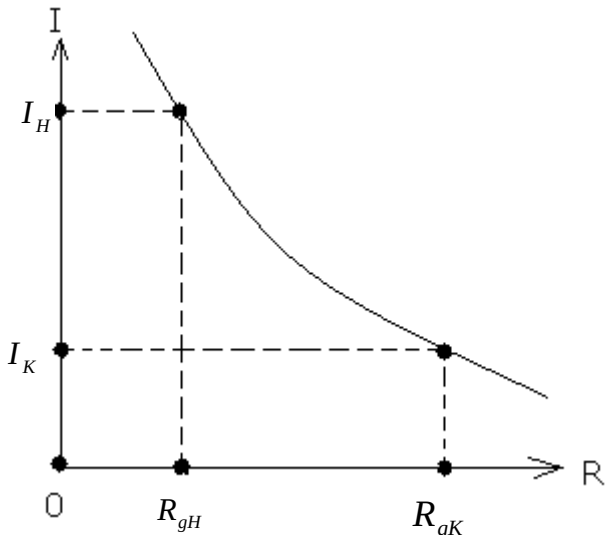


Рис. 8.3. График зависимости $I = f(R_g)$

На рис. 8.2 и рис. 8.3 приняты следующие обозначения: R_g – сопротивление датчика; R – балластное сопротивление; U – напряжение питания; I – измеряемый ток; A – амперметр (измеритель тока); R_{gH} – начальное сопротивление датчика; R_{gK} – конечное сопротивление датчика; $I_н$ и I_K – начальное и конечное значения тока

Мостовые измерительные схемы имеют исключительно большое значение при измерении физических величин (как электрических, так и неэлектрических), в силу чего эти схемы подробно описаны ниже и им посвящены отдельные главы учебного пособия.

8.4. Средства измерения электрических величин

Измерение физических величин с использованием датчиков и измерительных схем требует подключения к выходу измерительных схем электрических средств измерений (СИ) для регистрации и отображения выходных сигналов. С этой целью используются регистрирующие или показывающие СИ электрических величин. Регистраторы электрических сигналов описаны в литературе [1–7; 9; 18; 55].

В данном учебном пособии основное внимание уделено электроизмерительным приборам (аналоговым и цифровым, а также приборам прямого измерения и компенсационным).

На рис. 8.4 приведен один из возможных вариантов классификации электроизмерительных приборов.

Электронно-лучевые приборы находят применение в измерительной практике, хотя и в меньшей степени, чем в прежние годы. Вместе с тем электронно-лучевые приборы входят в учебные программы многих дисциплин (в том числе в школьную программу по физике), что позволило отказаться от рассмотрения этих приборов в данном учебном пособии.

Электромеханические и электронные приборы (аналоговые и цифровые), нашедшие наибольшее распространение, детально рассматриваются ниже в последующих разделах учебного пособия.

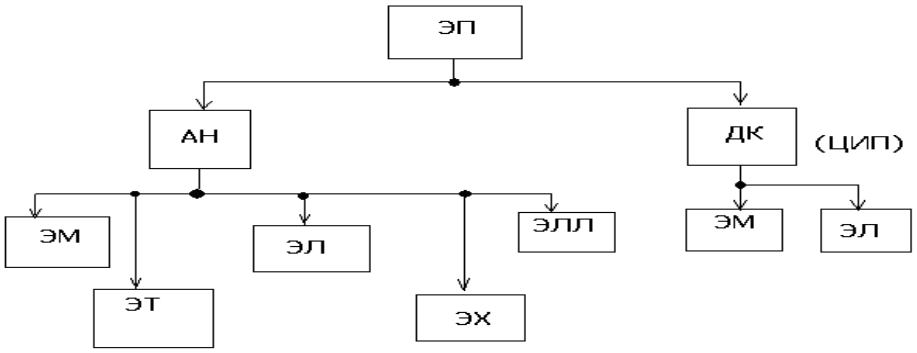


Рис. 8.4. Классификация электроизмерительных приборов:
ЭП – электроизмерительные приборы; АН – аналоговые приборы; ДК – дискретные приборы (цифровые измерительные приборы); ЭМ – электромеханические приборы (аналоговые и цифровые); ЭЛ – электронные приборы (аналоговые и цифровые); ЭЛЛ – электронно-лучевые приборы (электронные осциллографы); ЭТ – электротепловые приборы; ЭХ – электрохимические приборы

Электрохимические приборы используют химическое действие электрического тока.

Электротепловые приборы используют тепловое действие электрического тока.

Электрохимические и электротепловые приборы используются сравнительно редко при решении специфических измерительных задач и в силу этого в данном учебном пособии не рассматриваются.

9. ПОСТРОЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ДАТЧИКОВ

9.1. Общие положения

Датчики могут быть систематизированы по виду входных (измеряемых) величин, что может быть полезным при выборе датчиков для измерения заданной величины.

По виду входных (измеряемых) величин датчики обычно разделяют на следующие группы:

1) датчики перемещений;
2) датчики усилий;
3) датчики момента вращения;
4) датчики размеров;
5) датчики уровня;
6) датчики скорости;
7) датчики ускорения;
8) датчики параметров вибраций;
9) датчики давления и расхода;
10) датчики температуры;
11) датчики влажности;
12) датчики для анализа состава вещества.

В пределах каждой группы возможно и дальнейшее разделение датчиков. Например, можно различать датчики линейного и углового перемещения, датчики высоких и низких температур и т. д.

Систематизация датчиков по виду их выходного сигнала позволяет определить, какие измерительные устройства наиболее пригодны для работы с данными датчиками или, наоборот, какие типы датчиков следует использовать для заданных измерительных устройств.

По виду выходного сигнала датчики, применяемые для электрических измерений неэлектрических величин, можно разделить на группы в зависимости от преобразования ими измеряемой величины в электрическое сопротивле-

ние, в индуктивность, в емкость, в значение постоянного тока или напряжения, в фазу переменного тока или напряжения, в частоту переменного тока или напряжения.

Кроме того, выходная величина датчика может представлять собой импульсно-модулированный электрический ток или напряжение. Причем возможно применение амплитудно-импульсной, частотно-импульсной, время-импульсной и других видов модуляции. Такие датчики особенно целесообразно использовать в импульсных и цифровых измерительных устройствах.

Большие возможности открываются при использовании датчиков в измерительно-вычислительных комплексах (ИВК) совместно с компьютерами. Такое использование позволяет решить целый круг задач, связанных со сбором, переработкой, передачей, хранением, поиском и выдачей информации, «источником» которой являются датчики. Попутно решаются такие проблемы, как компенсация внешних воздействий на датчики, повышение точности и надежности проводимых измерений, ускорение и упрощение экспериментальных работ и т. п. Более подробно о сопряжении датчиков с компьютерами, о возникающих при этом трудностях и о круге решаемых задач можно узнать из литературы, приведенной в конце учебного пособия (см., например, [33, 34]).

9.2. Классификация датчиков

Большое разнообразие и многочисленность видов датчиков затрудняют задачу изучения, оптимального выбора и использования их при электрических измерениях неэлектрических величин. Для облегчения этой задачи необходимы, очевидно, систематизация и классификация датчиков. Чаще всего классификация датчиков проводится по принципу их действия. Кроме того, датчики иногда целесообразно классифицировать по виду входных или выходных величин, как уже было рассмотрено выше (см. п. 9.1).

В зависимости от принципа действия датчики можно разделить на две большие группы: датчики параметрические и датчики генераторные.

Датчики параметрической группы характеризуются тем, что измеряемая неэлектрическая величина преобразуется в параметр электрической цепи: со-

противление, индуктивность, взаимную индуктивность, емкость. Для обеспечения нормальной работоспособности таких датчиков необходимы вспомогательные источники электрической энергии.

К параметрическим можно отнести следующие типы датчиков:

1) *реостатные датчики*, основанные на использовании зависимости сопротивления реостата от положения его движка, который перемещается под воздействием измеряемой величины;

2) *датчики контактного сопротивления*, в которых используется зависимость контактного сопротивления между поверхностями твердых тел (например, угольных шайб) от давления тел друг на друга;

3) *тензометрические (тензорезисторные) датчики*, основанные на измерении сопротивления проводников при их растяжении или сжатии;

4) *терморезисторные датчики*, основанные на измерении их сопротивлений в зависимости от температуры;

5) *фоторезисторные датчики*, основанные на изменении их сопротивлений в зависимости от освещенности;

6) *электролитические датчики*, основанные на изменении сопротивления раствора электролита от концентрации раствора;

7) *ионизационные датчики*, основанные на зависимости сопротивления газового разрядного промежутка от степени ионизации газа;

8) *электронные (механотронные) датчики*, основанные на зависимости анодного тока электронных ламп от расстояния между их электродами;

9) *индуктивные датчики*, основанные на зависимости их индуктивности от величины немагнитных зазоров, от длины и площади сечения сердечников, а также от взаимного расположения частей магнитопроводов и обмоток датчиков;

10) *магнитоупругие датчики*, основанные на зависимости их индуктивности от механического напряжения ферромагнитного материала, образующего сердечники этих датчиков;

11) *емкостные датчики*, основанные на зависимости электрической емкости конденсатора от размеров и взаимного расположения его обкладок, а также от диэлектрической проницаемости его диэлектрика.

Генераторные датчики характеризуются тем, что в них осуществляется преобразование различных видов энергии в электрическую (генерирование электрической энергии под воздействием измеряемой неэлектрической величины).

К генераторным можно отнести следующие типы датчиков:

1) *термоэлектрические датчики (термопары)*, основанные на зависимости термоЭДС термопар от разности температур их рабочих и свободных концов;

2) *индукционные датчики*, основанные на явлении электромагнитной индукции;

3) *пьезоэлектрические датчики*, основанные на использовании прямого пьезоэлектрического эффекта, состоящего в поляризации некоторых материалов (кварца, турмалина, пьезокерамики и др.) при их деформации;

4) *фотоэлектрические датчики*, основанные на зависимости ЭДС фотоэлементов от их освещенности;

5) *гальванические датчики*, основанные на зависимости ЭДС гальванического элемента от состава и концентрации растворов электролитов;

6) *электрокинетические датчики*, основанные на явлении электрокинетического потенциала, возникающего при вынужденном протекании полярной жидкости через пористую стенку.

Приведенный перечень типов датчиков не охватывает, конечно, всех типов и всех возможных модификаций датчиков одного типа. Приведены лишь наиболее распространенные типы датчиков, которые и будут рассмотрены более подробно в последующих разделах учебного пособия.

9.3. Параметрические датчики

9.3.1. Реостатные датчики

Реостатным параметрическим датчиком называют переменное сопротивление, движок которого перемещается в соответствии со значением измеряемой неэлектрической величины. Таким образом, входной величиной реостатных датчиков является перемещение движка, которое может быть линейным или угловым. Выходной величиной реостатных датчиков является активное сопротивление, которое может изменяться линейно или по некоторому закону (в зависимости от перемещения движка).

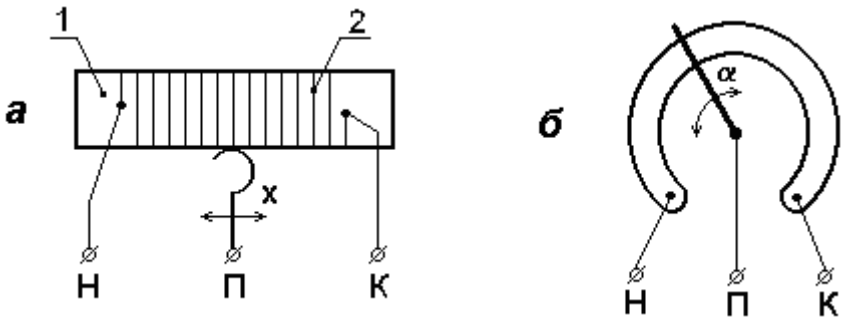


Рис. 9.1. Реостатные преобразователи для линейных *(а)* и угловых *(б)* перемещений:
1 – каркас; 2 – обмотка; Н, К – начало и конец обмотки; П – вывод от подвижного контакта (движка); *x* – линейное перемещение движка; α – угловое перемещение движка датчика

Основными элементами реостатного датчика являются: каркас с обмоткой в виде проволоки (или с нанесенным на каркас полупроводником, пленкой металла или пленкой специального сплава) и подвижные токосъемные щетки (движки), которые скользят непосредственно по поверхности резистивного слоя или по ряду соединенных с ним контактов. Датчики могут быть однооборотные и многооборотные. Например, в [37] описан десятиоборотный датчик с намоткой в виде проволочной проводящей спирали на пластмассовом цилиндре со щетками из благородных металлов. Срок службы такого датчика – 20 млн. оборотов при скорости до 500 об/мин.

Статические характеристики преобразования реостатных датчиков приведены на рис. 9.2.

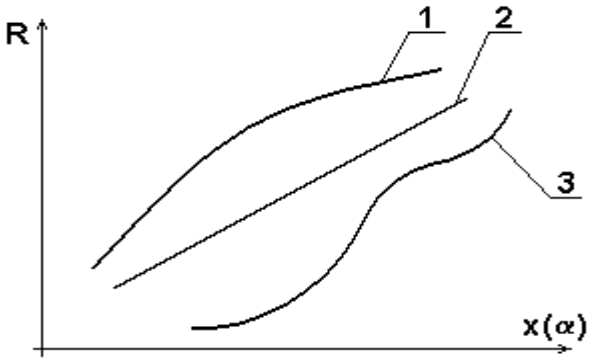


Рис. 9.2. Статические характеристики преобразования реостатных датчиков:
1 – нелинейная; 2 – линейная; 3 – функциональная

На рис. 9.2 в качестве входных величин отложены по оси абсцисс величины x и α (линейное и угловое перемещение движка датчика), а по оси ординат (в качестве выходной величины) отложено значение активного сопротивления R.

Статические характеристики преобразования реостатных датчиков в самом общем виде могут быть записаны следующим образом:

$$R = f(x), \tag{9.1}$$

$$R = f(\alpha), \tag{9.2}$$

где величины R, x, α определены выше.

Проволочные датчики (по сравнению с непроволочными) обладают рядом преимуществ: большей стабильностью во времени, большей надежностью, линейностью и т. д. Вместе с тем конечное число витков обмотки таких датчиков приводит к тому, что их статические характеристики, строго говоря, становятся ступенчатыми и возникает погрешность разрешающей способности (ступеньки на рис. 9.2 не показаны). Относительную погрешность разрешения δ обычно задают в виде

$$\delta = (1/w)\cdot 100\ \%, \tag{9.3}$$

где w – число витков.

Для удовлетворительной работы реостатного датчика число витков должно быть не менее 100–200.

Конструкция реостатных датчиков: каркас из текстолита или пластмассы; реже применяются каркасы из алюминия, покрытого изоляционным лаком или оксидной пленкой; провода изготавливаются из константана, манганина, фехраля, из сплавов платины с иридием, платины с палладием и др.

К достоинствам реостатных датчиков относятся их простота, дешевизна и высокий уровень выходного сигнала без усиления. С другой стороны, они обладают сравнительно низкой точностью, имеют скользящий контакт и иногда требуют значительных усилий для перемещения движка датчика.

Применяют реостатные датчики для измерения перемещений и других неэлектрических величин (например, усилий, давлений, уровней и т. п.), которые предварительно могут быть преобразованы в перемещения. Справочные данные по реостатным датчикам приведены в [37, 38].

9.3.2. Датчики контактного сопротивления

Действие датчиков контактного сопротивления (рис. 9.3) основано на зависимости переходного сопротивления контактов R_K от усилия их сжатия.

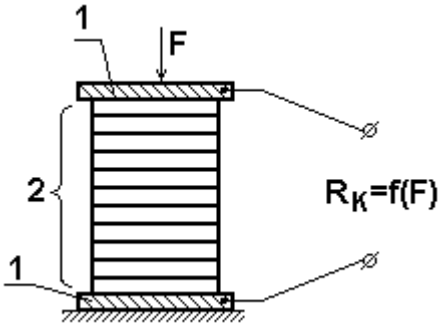


Рис. 9.3. Датчик контактного сопротивления:
1 – металлические пластины; 2 – столбик из шайб (например, угольных)

Зависимость значения контактного сопротивления R_K от усилия сжатия определяется соотношением

$$R_K = \frac{K}{F_0 + F}, \tag{9.4}$$

где K – постоянный коэффициент;

F_0 – усилие сжатия в исходном положении;

F – текущее значение усилия сжатия.

Начальное сжатие контактов осуществляется за счет конструктивных особенностей датчиков, позволяющих осуществить эту операцию.

График статической характеристики преобразования (СХП) в соответствии с соотношением (9.4), являющимся аналитической записью СХП, приведен на рис. 9.4.

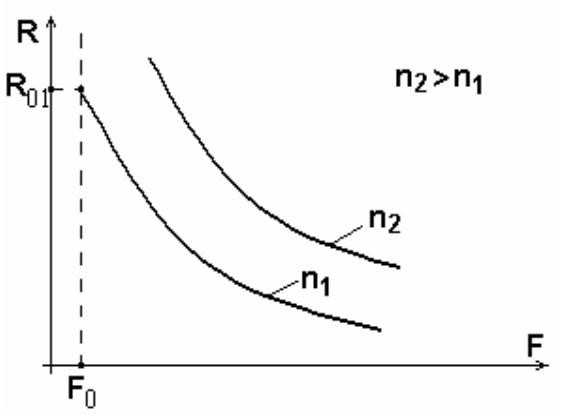


Рис. 9.4. График статической характеристики преобразования датчика контактного сопротивления: n_1, n_2 – число угольных шайб; R_{01} – исходное (начальное) сопротивление датчика при $F = F_0$ и $n = n_1$

Обычно датчики выполняются из угольных шайб или дисков. Материалом служат электродный уголь, графит или керамика с графитовым заполнением. Толщина шайб 0,5–3,5 мм. Размеры шайб выбираются из расчета максимально допускаемого давления до 65 кГс/см^2 и максимально допускаемого тока до 300–400 мА.

Кроме «угольных», известны датчики контактного сопротивления на основе электропроводящей бумаги, уложенной рядами в виде столбика, на основе электропроводящей резины или металлических пластин, на которые путем напыления нанесен высокоомный резистивный слой.

К недостаткам датчиков контактного сопротивления следует отнести большой гистерезис, значительную нелинейность и зависимость их сопротивления от температуры окружающей среды. Суммарная погрешность рассматриваемых датчиков может достигать ±10 %.

К достоинствам этих датчиков относятся их конструктивная простота, высокая надежность и достаточная для целей измерения и автоматизации мощность.

Кроме преобразования неэлектрических величин (усилий, напряжений, малых перемещений и т. д.) в электрические, датчики контактного сопротивления применяются в качестве выходных органов регуляторов напряжения, стабилизаторов, угольных микрофонов и т. п.

Более подробно с датчиками контактного сопротивления можно познакомиться по многим литературным источникам (см., например, [32, 37]).

9.3.3. Тензорезисторные датчики

Принцип действия тензорезисторных датчиков основан на изменении сопротивления материала проводника при его деформации. Отметим, что рассматриваемые датчики могут называться по-разному. Например, могут быть использованы термины: тензометрические датчики, тензочувствительные датчики, омические тензодатчики и просто «тензодатчики». В дальнейшем будем использовать последний из названных терминов («тензодатчик»).

Принцип работы тензодатчиков поясняет рис. 9.5.

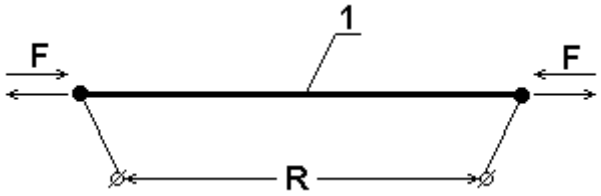


Рис. 9.5. Тензодатчик:
1 – проводник; R – сопротивление проводника;
«F–F» – усилие растяжение (или сжатия) проводника

Сопротивление проводника при неизменной температуре, как известно, рассчитывается по формуле

$$R = \rho \frac{l}{S}. \qquad (9.5)$$

где ρ – удельное сопротивление материала проводника;

l – длина проводника;

S – площадь поперечного сечения проводника.

При малом растяжении или сжатии проводника его удельное сопротивление остается примерно постоянным. Принимая, что ρ≈const, рассмотрим влияние на R остальных членов выражения (9.5).

При растяжении длина проводника l растет, площадь поперечного сечения S уменьшается и в соответствии с выражением (9.5) сопротивление проводника R возрастает.

При сжатии проводника эффект будет обратным: длина l уменьшается, площадь поперечного сечения S растет и сопротивление R снижается.

В случае значительных деформаций проводников удельное электрическое сопротивление материала этих проводников изменяется (возрастает и при растяжении, и при сжатии), что необходимо учитывать.

Изменение сопротивления проводников характеризуется коэффициентом тензочувствительности:

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}, \tag{9.6}$$

где K – коэффициент тензочувствительности;

ΔR и Δl – изменения сопротивления и длины проводника.

Чувствительные элементы тензодатчиков выполняют из металлической проволоки и фольги, а также из полупроводников круглого и плоского сечения. Конструкции различных типов тензодатчиков представлены на рис. 9.6.

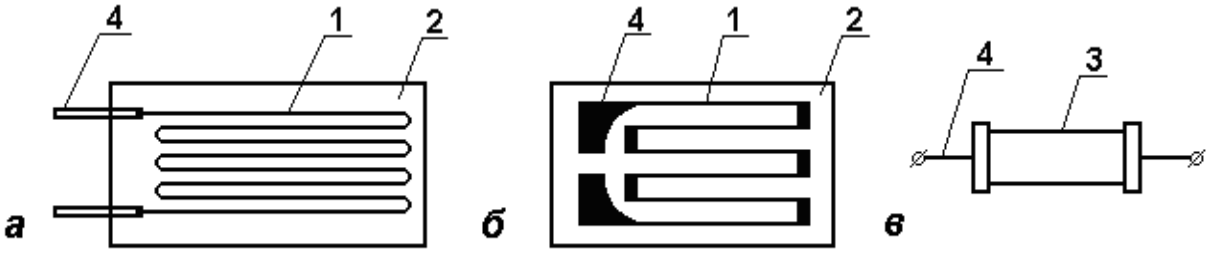


Рис. 9.6. Конструкция тензодатчиков проволочных (*а)*, фольговых (*б)* и полупроводниковых (*в*): 1 – металлические проводники; 2 – подложка из бумаги или лаковая пленка; 3 – полупроводник; 4 – выводы

Показанные на рис. 9.6 датчики относятся к «наклеиваемым», т. е. вместе с подложкой их наклеивают на исследуемую деталь специальным клеем. Такие датчики просты в работе, но наличие клея ухудшает их характеристики (появляется гистерезис, «ползучесть» и потеря чувствительности со временем). Существуют бесклеивые датчики, проводники которых крепятся к взаимоперемещающимся деталям без клея с помощью механических устройств.

Для проволочных тензодатчиков, приведенных на рис. 9.6, *а* и для фольговых тензодатчиков, приведенных на рис. 9.6, *б* относительные изменения сопротивления не превышают 1 %, что может оказаться сравнимым с температурными изменениями сопротивления этих датчиков. Отсюда требования к материалу тензодатчиков – иметь малый температурный коэффициент и большой коэффициент тензочувствительности. Кроме того, материалы тензодатчиков должны иметь большое удельное сопротивление (для уменьшения габарита датчика при заданном его сопротивлении) и большую механическую прочность. Основные характеристики материалов для тензодатчиков приведены в табл. 9.1. Следует отметить, что приведенные характеристики в значительной степени зависят от состава, технологии изготовления и последующей обработки материала.

Таблица 9.1

Характеристики материалов, используемых для тензодатчиков

Материал	**Коэффициент тензочувствительности К**	**Удельное сопротивление ρ при 20 °С, мкОм·м**	**Температурный коэффициент сопротивления (ТКС), 10^{-3}/°С**
Константан	1,9÷2,2	0,47÷0,51	–0,04÷+0,02
Манганин	0,47÷0,50	0,4÷2,0	–0,03÷+0,04
Нихром	2,1÷2,3	1,0÷1,2	0,15÷0,17
Изоэластик	2,8÷3,6	–	0,47
Платина	4,1÷6,1	0,09÷1,11	2,57÷3,98
Железохромо-алюминиевый сплав	2,8÷2,9	1,35÷1,55	0,02

Данные табл. 9.1 свидетельствуют, что наибольшей тензочувствительностью (среди приведенных материалов) обладает платина. Несмотря на это, платиновые тензодатчики используются сравнительно редко из-за большого температурного коэффициента сопротивления (ТКС). Наибольшее распространение для изготовления тензодатчиков получил константан, имеющий приемлемую тензочувствительность (К≈2) и малый ТКС. Полупроводниковые тензорезисторы имеют чувствительность много большую, чем металлические, но усту-

пают последним по стабильности характеристик и по температурному диапазону. Применение современной интегральной микроэлектронной технологии позволяет значительно улучшить все характеристики как металлических (фольговых), так и полупроводниковых тензодатчиков (повышаются стабильность и идентичность, уменьшаются размеры и т. п.).

Номинальные сопротивления тензодатчиков составляют от 50 до 800 Ом. Фольговые и проволочные тензодатчики обычно имеют длину от 5 до 20 мм и ширину от 3 до 10 мм. Полупроводниковые тензодатчики представляют собой пластинку монокристалла кремния или германия (чаще кремния) длиной 5–10 мм и шириной 0,2-0,8 мм. Известны «малобазовые» тензодатчики (металлические и полупроводниковые), имеющие длину от 1 до 3 мм.

Основное назначение тензодатчиков – измерять деформацию деталей машин и механизмов, а также элементов зданий и сооружений (мостов, виадуков и т. д.). Кроме того, они могут использоваться в качестве чувствительного элемента датчиков давления, силы, параметров вибрации. Например, при измерении давления жидкости или газа тензорезисторы наносят на мембрану датчика давления и располагают их так, что при работе два из них подвергаются деформации растяжения, а два других – деформации сжатия.

Использование специальных схем включения (обычно мостовых) и специальных компенсирующих устройств обеспечивают высокие метрологические характеристики измерений. Совмещение в одной конструкции всех функциональных узлов датчика позволяет сократить число проводов в линиях связи, сформировать высокочувствительный выход и повысить помехозащищенность измерительного канала.

Справочные данные по тензодатчикам приведены во многих литературных источниках (см., например, [32, 37, 38]).

9.3.4. Фоторезисторные датчики

Фоторезисторные датчики (устаревшее название «фотосопротивления») представляют собой полупроводниковую пластину, которая при освещении уменьшает свое сопротивление в результате внутреннего фотоэффекта. Схема фоторезистора и его характеристика $R = f(\Phi)$ приведены на рис. 9.7.

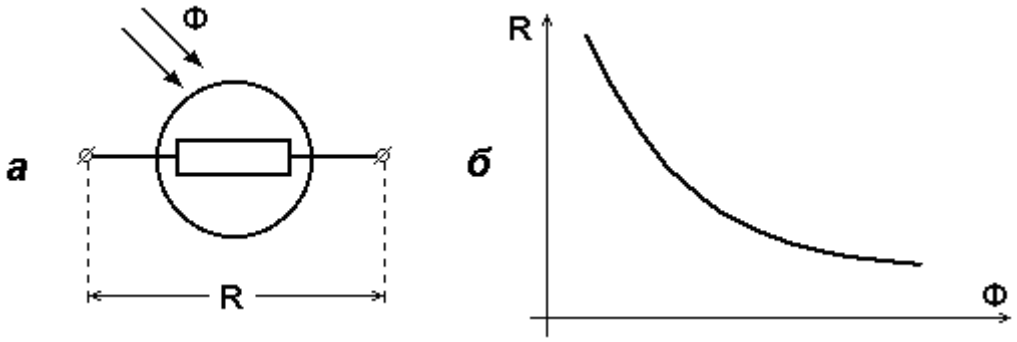


Рис. 9.7. Схема фоторезистора (*а)* и его статическая характеристика преобразования (*б)*: R – сопротивление фоторезистора; Ф – световой поток

В качестве фоточувствительного материала обычно используются: сернистый кадмий (тип ФС-К), сернистый свинец (тип ФС-А), селенид кадмия (тип ФС-Д), монокристаллы сернистого кадмия (тип ФС-КМ). Спектральные характеристики фоторезисторов определяются свойствами используемых полупроводниковых материалов. Полупроводниковые фоторезисторы перекрывают спектр от инфракрасных до ультрафиолетовых излучений. Характеристики полупроводниковых фоторезисторных датчиков нелинейны и температурозависимы, поэтому выбор подходящего типа фоторезистора и схемы его включения во многом зависит от конкретной области его применения.

При небольших освещенностях сопротивление фоторезистора подчиняется закону Ома:

$$R = \frac{U}{I_\Phi}, \tag{9.7}$$

где U – напряжение, приложенное к фоторезистору;

I_Φ – фототок.

При больших освещенностях фоторезистора пропорциональность между U и I_Φ нарушается.

Чувствительность фоторезисторов определяется кратностью изменения их сопротивлений $R_{\text{Т}}$ и $R_{\text{СВ}}$:

$$K = \frac{R_T}{R_{CB}}, \tag{9.8}$$

где $R_{\text{Т}}$ – темновое сопротивление (сопротивление неосвещенного фоторезистора); $R_{\text{СВ}}$ – сопротивление освещенного фоторезистора (обычно принимается освещенность E = 200 лк).

Инерционность фоторезисторов характеризуется постоянной времени T, которая может принимать значения от десятков микросекунд до десятков миллисекунд. Основные характеристики фоторезисторных датчиков приведены в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Основные характеристики фоторезисторных датчиков

Тип фоторезистора	**Размер фоточувствительной площадки, мм^2**	**Рабочее напряжение, В**	**Темновое сопротивление, МОм**	**Фототок, мкА**	$\frac{R_T}{R_{CB}}$	**Постоянная времени, мс**	**Спектральная чувствительность**	
							λ_{max}	$\lambda_{кр}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ФСК-1	28,8	400	3,3	1500	100	80	0,64	0,9
ФСК-5	1,0	100	5,1	500	60	80	0,64	0,9
ФСД-0	28,8	300	2,0	1500	150	3,0	0,72	1,2
ФСА-1	30,0	15–60	0,05	–	1,2	0,04	2,1	2,7
ФСК-П1	12,0	100	100	80-2000	1500	0,04	0,64	0,9
ФСА-6	125	15–30	0,2	–	1,2	0,04	2,1	2,7
СФЗ-1	7,5	15	0,5	1500	3000	0,04	0,72	1,2

Примечания

1. Значение фототока (колонка «5») и отношение темнового сопротивления $R_{\text{Т}}$ к световому сопротивлению $R_{\text{СВ}}$ (колонка «6») указаны при освещенности 200 лк.
2. Значение λ_{max} (колонка «8») соответствует длине волны излучения, при которой спектральная чувствительность достигает максимума.
3. Значение $\lambda_{кр}$ (колонка «9») – длина волны излучения, соответствующая красной границе спектральной чувствительности.

Более подробно с фоторезисторными датчиками можно познакомиться по литературным источникам, приведенным в библиографическом списке (справочные данные см., например, в [32, 37]).

9.3.5. Терморезисторные датчики

Принцип действия терморезисторных датчиков (устаревшее название – «датчики термосопротивления») основан на свойстве проводников и полупроводников изменять свое электрическое сопротивление при изменении их температуры. В качестве терморезисторов может использоваться металлический или полупроводниковый резистор.

Датчики температуры с терморезисторами иногда называют термометрами сопротивления.

Наибольшее распространение получили металлические терморезисторы, что объясняется стабильностью их статических характеристик преобразования и возможностью строить на их основе измерители температур со сравнительно малыми погрешностями.

Для изготовления полупроводниковых терморезисторов (термисторов) применяются смеси окислов металлов (Mn_2O_3, Cu_2O_3, Fe_2O_3, NiO и др.), которые прессуются и спекаются при высокой температуре. Термисторы обладают высокой чувствительностью, но широкого распространения не получили из-за нестабильности их статических характеристик преобразования.

Зависимость сопротивления проводника от его температуры выражается формулой

$$R = R_0 \cdot e^{\alpha(\theta-\theta_0)} \tag{9.9}$$

где R – сопротивление проводника при температуре θ;

R_0 – сопротивление проводника при температуре θ_0;

α – температурный коэффициент сопротивления.

График зависимости $R = f(\theta)$ приведен на рис. 9.8.

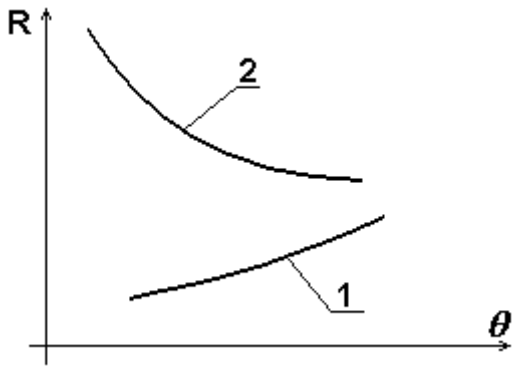


Рис. 9.8. Статические характеристики преобразования терморезисторных датчиков:
1 – металлические терморезисторы; 2 – полупроводниковые терморезисторы

Металлические терморезисторы нормируются государственным стандартом ГОСТ 6651-84 [51]. Отметим, что ГОСТ 6651-84 вводит термин «термопреобразователи сопротивления» (далее – ТС).

В соответствии со стандартом для изготовления металлических ТС могут использоваться медные (ТСМ), платиновые (ТСП) и никелевые (ТСН) терморезисторы. Использование других металлов не рекомендуется. Основные характеристики ТС, нормируемые стандартом [51], приведены в табл. 9.3.

Таблица 9.3

Основные характеристики термопреобразователей сопротивления

Тип	**Диапазон измеряемых температур, °С**	**Условные обозначения номинальных статических характеристик преобразования (НСХП)**	**Класс допуска**
ТСМ	–200÷+200	10М; 50М; 100М	В; С
ТСП	–260÷+1100	1П; 10П; 50П; 100П; 500П	А; В; С
ТСН	–70÷+180	–	С

Примечания
1. Цифры в условных обозначениях НСХП обозначают значение сопротивления ТС при 0 ^{0}С (R_0).
2. Буквы в условных обозначениях НСХП обозначают: «М» – медные ТС; «П» – платиновые ТС; «Н» – никелевые ТС.

Значения классов допуска (А; В; С) приведены в табл. 9.4.

Таблица 9.4

Допускаемое отклонение от номинального значения сопротивления R_0 при 0°С для нормируемых классов допуска (± %)

Тип	Класс допуска		
	A	**B**	**C**
ТСП	0,05	0,1	0,2
ТСМ	–	0,1	0,2
ТСН	–	–	0,24

Рассмотрим более детально зависимость $R = f(\theta)$ для металлических ТС (см. выражение (9.9)).

Разлагая правую часть (9.9) в степенной ряд и ограничиваясь первыми двумя членами ряда, получаем

$$R = R_0 \cdot [1 + \alpha(\theta - \theta_0)], \qquad (9.10)$$

где $\alpha \approx 4 \cdot 10^{-3}$ $(°C)^{-1}$ – для ТСП и ТСМ.

Выражение (9.10) правомерно для медных ТС при температуре от 0 до +200 °С и в первом приближении для платиновых ТС при тех же температурах.

Для отрицательных температур и для температур больших +200 °С разложение выражения (9.9) в степенной ряд должно содержать уже три члена.

$$R = R_0 \cdot [1 + \alpha(\theta - \theta_0) + \beta(\theta - \theta_0^2)], \qquad (9.11)$$

где $\beta \approx -5,8 \cdot 10^{-7} (^0C)^{-2}$ – для ТСП;

$\beta \approx -5,0 \cdot 10^{-7} (^0C)^{-2}$ – для ТСМ.

Таким образом, в небольшом температурном диапазоне зависимость $R = f(\theta)$ близка к линейной. Для больших температурных диапазонов (особенно при отрицательных температурах) эта зависимость становится нелинейной. Большей линейностью отличаются характеристики медных ТС и меньшей – платиновых ТС.

Температура терморезистора, а следовательно, и величина его сопротивления при установившемся тепловом равновесии определяются многими факторами: температурой окружающей среды; электрическим током через датчик;

геометрическими размерами датчика, его конфигурацией, наличием (или отсутствием) защитной арматуры; физическими свойствами окружающей среды; скоростью перемещения газовой или жидкой среды, в которую погружен датчик и т. д.

Зависимость сопротивления датчика от перечисленных выше факторов позволяет использовать терморезисторы для измерения различных неэлектрических величин (температуры, скорости перемещения жидкости или газа и т.д.).

К недостаткам рассматриваемых датчиков следует отнести сравнительно большую инерционность, нелинейность зависимости $R = f(\theta)$, большой разброс параметров у термисторов и т. д.

Более подробно с терморезисторными датчиками можно познакомиться по литературе, приведенной в библиографическом списке (справочные данные, например, см. в [3, 32, 37, 38]).

9.3.6. Индуктивные датчики

Принцип действия индуктивных датчиков основан на изменении их индуктивности под воздействием входной величины (перемещения, усилия).

Различают датчики короткоходовые и длинноходовые, нормального исполнения и дифференциальные, а также магнитоупругие датчики, в основу которых положено свойство ферромагнитных материалов изменять магнитную проницаемость при упругих деформациях.

Короткоходовые датчики. Схемы, поясняющие их работу, приведены на рис. 9.9.

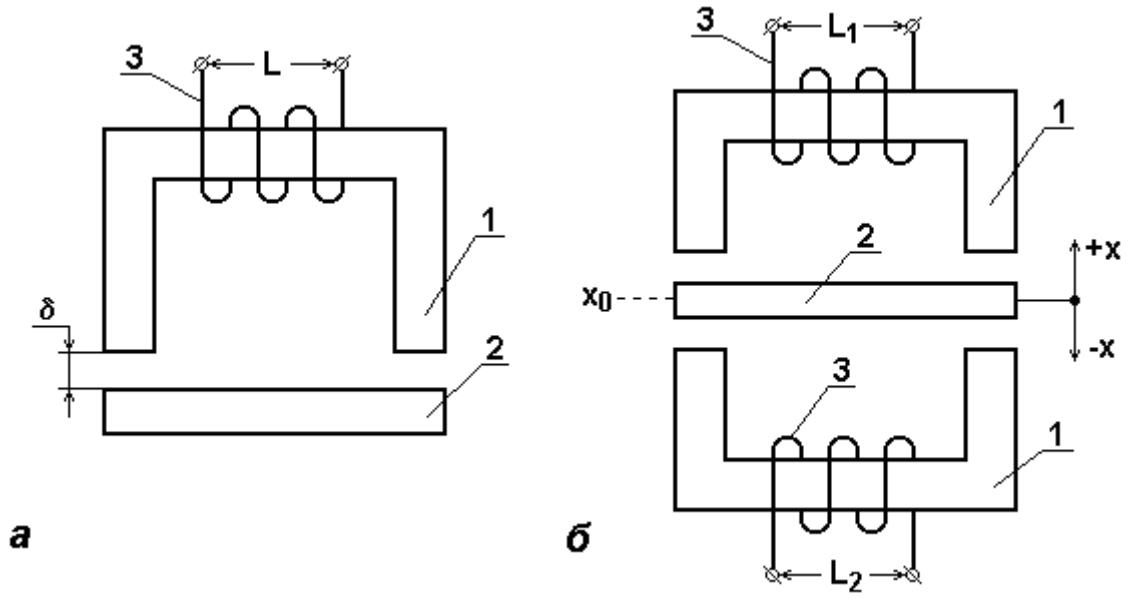


Рис. 9.9. Схемы короткоходовых датчиков нормального (*а)* и дифференциального исполнения (*б)*: 1 – магнитопроводы из магнитомягкого материала; 2 – сердечники из магнитомягкого материала; 3 – обмотки датчиков; L, L_1, L_2 – индуктивности датчиков;δ – воздушный зазор; x_0 – начальное положение сердечника

Индуктивность датчика L с воздушным зазором δ (рис. 9.9, *а*) определяется следующим выражением:

$$L = \frac{w^2 \cdot \mu_0 \cdot S}{2\delta + l/\mu}, \qquad (9.12)$$

где w – число витков;

μ_0 – магнитная постоянная (в системе СИ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м);

S – площадь поперечного сечения магнитопровода;

l – длина магнитопровода;

δ – воздушный зазор;

μ – относительная магнитная проницаемость.

Из соотношения (9.12) следует, что индуктивность датчика зависит от воздушного зазора (обратно пропорциональна значению зазора), а также от значения величин w, S, l и μ. Конструкция датчиков, приведенных на рис. 9.9, *а* и на рис. 9.9, *б*, позволяет реализовать только зависимость $L = f(\delta)$ или $L = f(x)$. При другой конструкции может быть использована зависимость индуктивности датчика от геометрических размеров магнитопровода, магнитной проницаемости материала магнитопровода или числа витков катушки.

Графики статических характеристик преобразования рассматриваемых индуктивных датчиков приведены на рис. 9.10.

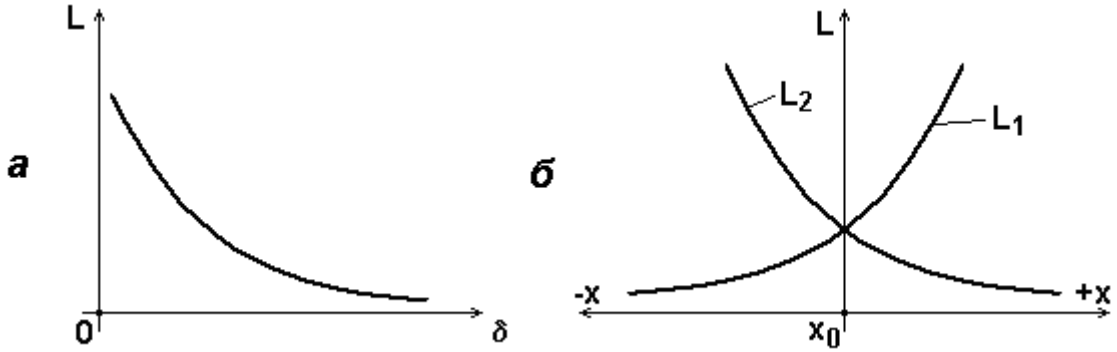


Рис. 9.10. Графики зависимостей $L = f(\delta)$, $L_1 = f_1(x)$ и $L_2 = f_2(x)$ для короткоходовых индуктивных датчиков: *а* – одинарные датчики; *б* – дифференциальные датчики

Короткоходовые индуктивные датчики применяются для измерения малых перемещений (от 0,01 до 5 мм) и других неэлектрических величин, которые могут быть преобразованы в перемещение (усилие, давление, вращающий момент и т. п.).

К недостаткам индуктивных датчиков следует отнести нелинейность статических характеристик преобразования, зависимость индуктивного сопротивления датчика от частоты источника питания и от температуры окружающей среды, большое обратное воздействие датчика на объект исследования.

Достоинства индуктивных датчиков: простота, надежность, отсутствие подвижных контактов, относительно большая величина отдаваемой электрической мощности, возможность работы на переменном токе промышленной частоты.

Длинноходовые датчики. Схемы, поясняющие их работу, приведены на рис. 9.11, где рассмотрены датчики нормального исполнения (рис. 9.11, *а*) и датчики дифференциальные (рис. 9.11, *б*).

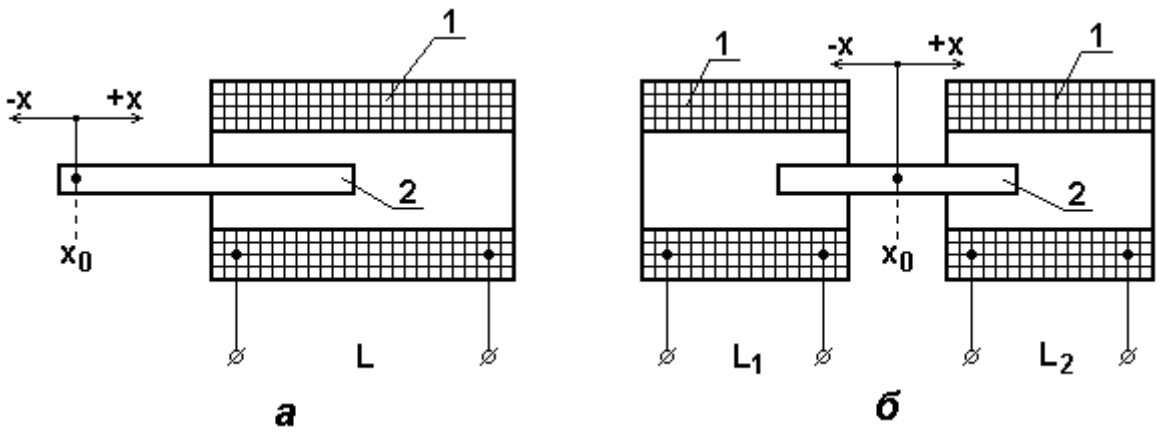


Рис. 9.11. Схемы длинноходовых датчиков нормального (*а)* и дифференциального (*б)* исполнения: 1 – катушки (с числом витков *w*); 2 – сердечник (плунжер)

Сердечники рассматриваемых датчиков часто называют плунжерами. Отсюда и название этих датчиков, встречающееся в литературе, – «плунжерные датчики». Сердечники (плунжеры) могут быть ферромагнитные (из магнитомягкого материала) и диамагнитные (например, из меди).

Известно, что введение ферромагнитного сердечника увеличивает индуктивность катушки, а введение диамагнитного – уменьшает. Это обстоятельство приводит к существенному различию характеристик длинноходовых датчиков с ферромагнитными и диамагнитными сердечниками.

Индуктивность катушки с сердечником (чем по существу являются длинноходовые датчики) определяется выражением

$$L = \mu_0 \cdot \mu \cdot w^2 \cdot S / l \,, \qquad (9.13)$$

где μ_0 – магнитная постоянная (в системе СИ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м);

μ – относительная магнитная проницаемость материала сердечника (для ферромагнитных материалов $\mu >> 1$; для диамагнитных материалов $\mu < 1$);

w – число витков;

S, l – площадь и длина катушки.

Из (9.13) следует, что индуктивность длинноходовых датчиков прямо пропорциональна магнитной проницаемости материала сердечников (плунжеров), площади их поперечного сечения, квадрату числа витков и обратно пропорциональна длине катушки датчика.

Графики статических характеристик преобразования рассматриваемых датчиков приведены на рис. 9.12.

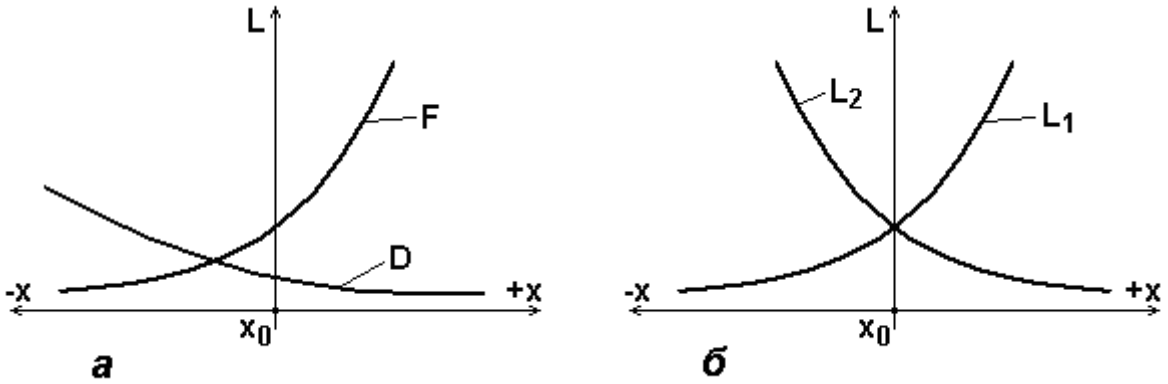


Рис. 9.12. Графики зависимостей $L = f(x)$ для длинноходовых датчиков: *а* – нормальные датчики; *б* – дифференциальные датчики; *F* – ферромагнитные сердечники; *D* – диамагнитные сердечники; L_1, L_2 – индуктивности дифференциальных датчиковпри использовании ферромагнитных сердечников

Применяются длинноходовые индуктивные датчики для измерения больших перемещений. Для датчиков с ферромагнитными сердечниками (плунжерами) перемещения могут составлять до 10-15 см, а для датчиков с диамагнитными сердечниками (плунжерами) – до 20-30 см и даже более.

Датчики с ферромагнитными сердечниками имеют нелинейные статические характеристики преобразования и высокую чувствительность. Чувствительность датчиков с диамагнитными сердечниками много ниже, но зато и их статические характеристики преобразования ближе к линейным.

Остальные достоинства и недостатки длинноходовых датчиков совпадают с достоинствами и недостатками короткоходовых датчиков (см. выше).

Магнитоупругие датчики – это датчики, индуктивность которых изменяется при упругих деформациях ферромагнитных сердечников. Схема, поясняющая работу таких датчиков, приведена на рис. 9.13, *а*.

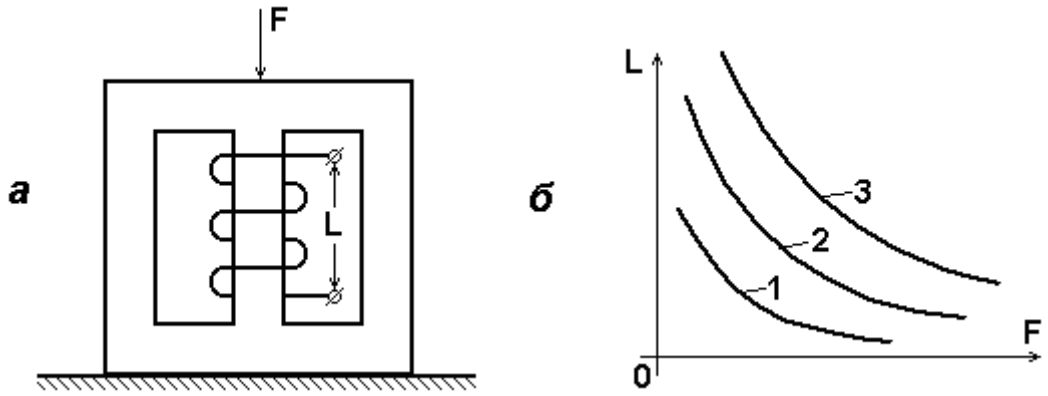


Рис. 9.13. Схема (*а)* и статические характеристики преобразования (*б)* магнитоупругих датчиков: *F* – усилие; *L* – индуктивность (1 – для м = м$_1$, 2 – для м = м$_2$, 3 – для м = м$_3$)

На рис. 9.13, *б* приведены статические характеристики преобразования магнитоупругих датчиков. Характеристики приведены для датчиков из различных ферромагнитных магнитомягких материалов, отличающихся друг от друга магнитной проницаемостью ($\mu_1<\mu_2<\mu_3$).

Магнитоупругие датчики представляют собой катушки индуктивности с замкнутыми магнитопроводами, деформирующимися под влиянием входных величин (усилия или перемещения).

В исходном состоянии (при $F = 0$ или $F = F_{min}$) индуктивность такого датчика максимальна. При $F \neq 0$ или $F>F_{min}$ магнитопровод датчика деформируется, его магнитная проницаемость снижается и, как результат, уменьшается индуктивность. Значение индуктивности датчика L (при F = const) определяется соотношением

$$L = \frac{w^2 \cdot S}{l} \cdot \mu_0 \cdot \mu, \qquad (9.14)$$

где w – число витков;

S, l – площадь поперечного сечения и длина магнитопровода;

μ_0 – магнитная постоянная (в системе СИ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м);

μ – относительная магнитная проницаемость материала сердечника.

Магнитоупругие свойства материала датчика характеризуются относительной магнитоупругой чувствительностью K:

$$K = \frac{\Delta\mu / \mu}{\Delta l / l}, \qquad (9.15)$$

где $\Delta\mu$; Δl – изменения магнитной проницаемости и длины магнитопровода датчика.

Материалом для сердечников может быть пермаллой, никель, электротехническая сталь, феррит и др. Относительная магнитоупругая чувствительность для некоторых материалов приведена в табл. 9.5.

Таблица 9.5

Магнитоупругие свойства материалов

Материал	**Состав**	**Относительная магнитоупругая чувствительность**
Пермаллой	68 % Ni 32 % Fe	250
	78,5 % Ni 21,5 % Fe	200
Никель	100 % Ni	100

Как правило, магнитоупругие датчики питаются от сети с частотой 50 Гц, но известны датчики с питанием от сети с повышенной частотой (от сотен герц до 20 кГц).

Магнитоупругие датчики применяются для измерения больших усилий (нажатия прокатных валков, массы автомобилей и железнодорожных вагонов и т. д.), а также для измерения деформаций в деталях конструкций (с помощью наклеиваемых датчиков).

К достоинствам магнитоупругих датчиков относятся их высокая надежность, сравнительная простота конструкции и большая мощность выходных сигналов.

Недостатком магнитоупругих датчиков является их малая точность, что объясняется наличием гистерезиса, изменением со временем характеристик, влиянием температуры окружающей среды и т. п.

Более подробно с индуктивными датчиками (короткоходовыми, длинноходовыми и магнитоупругими) можно познакомиться по литературе, приведенной в библиографическом списке в конце учебного пособия. Справочные данные по индуктивным датчикам см., например, в [3, 32, 37, 38].

9.3.7. Емкостные датчики

Действие емкостных датчиков основано на преобразовании входной (измеряемой) величины в электрическую емкость.

Для плоского конденсатора, образующего датчик с двумя электродами, можно записать:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \frac{S}{\delta}, \qquad (9.16)$$

где C – емкость конденсатора;

ε_0 – электрическая постоянная (в системе СИ ε_0 = 8,85 пФ/м);

ε – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика конденсатора;

S – площадь электродов (обкладок) конденсатора;

δ – расстояние между обкладками.

На рис. 9.14 приведены примеры основных типов емкостных датчиков.

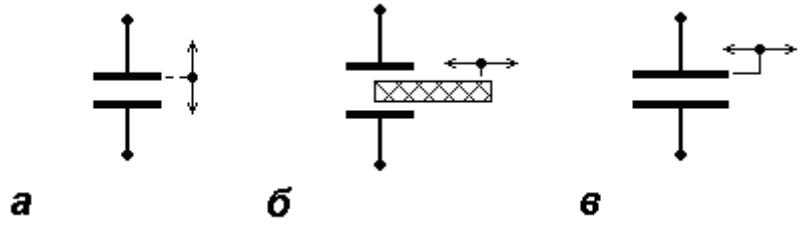


Рис. 9.14. Примеры основных типов емкостных датчиков

Изменение емкости возможно получить, изменяя:

1) расстояние между электродами (обкладками) конденсатора (рис. 9.14, *а*); в этом случае реализуется зависимость $C = f(\delta)$, где C – емкость конденсатора, δ – расстояние между электродами (обкладками) конденсатора;

2) диэлектрическую проницаемость диэлектрика или части его (рис. 9.14, *б*); в этом случае реализуется зависимость $C = f(\varepsilon)$, где ε – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика, расположенного между электродами (обкладками) конденсатора;

3) площадь электродов (обкладок), образующих емкостной датчик (рис. 9.14, *в*); в этом случае реализуется зависимость $C = f(S)$, где S – площадь электродов (обкладок) конденсатора.

Графики статических характеристик преобразования емкостных датчиков приведены на рис. 9.15.

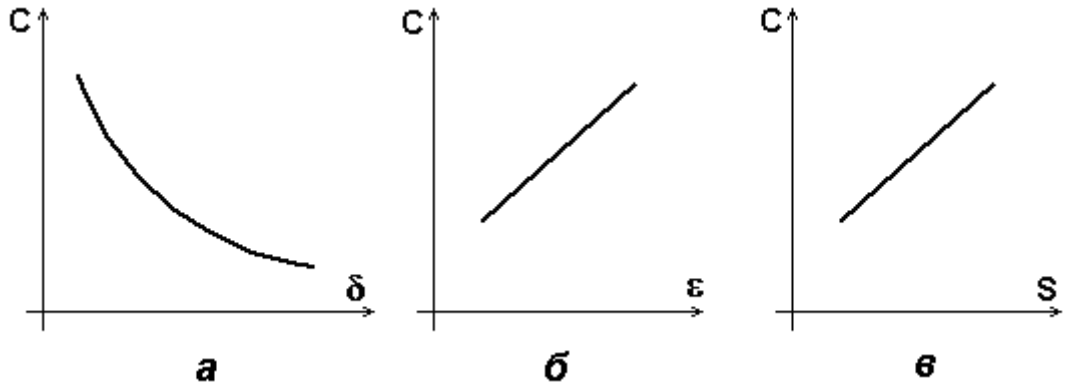


Рис. 9.15. Графики статических характеристик преобразования емкостных датчиков типов *а*, *б* и *в*

На практике наибольшее распространение получили емкостные датчики, построенные на принципе изменения расстояния между электродами, хотя такие датчики и имеют нелинейную статическую характеристику преобразования. Диэлектриком в этом случае может быть воздух, либо диэлектрическая жидкость, либо эластичный твердый диэлектрик (например, специальная резина).

Случай (*б*) представляет собой частный вариант случая (*а*) для измерения, например, диэлектрической проницаемости изоляционной ленты (или ее толщины), когда последняя проходит между обкладками конденсатора. Роль диэлектрика может выполнять жидкость при измерении, например, ее уровня.

Случай (*в*) представляет лишь одну из возможных конструкций датчиков, работающих на принципе изменения площади. Эта разновидность емкостных датчиков включает устройства такого типа, как поршень, движущийся в трубе, пластины с угловым перемещением относительно друг друга («переменные конденсаторы») и т. д.

Основными достоинствами емкостных датчиков являются: большая чувствительность, сравнительно малые размеры и вес и небольшое обратное действие на объект исследования (в отличие, например, от индуктивных датчиков, имеющих значительное обратное воздействие на объект исследования).

К числу недостатков емкостных датчиков следует отнести сильное влияние на результаты измерений паразитных емкостей и посторонних электрических полей, что требует очень тщательной экранировки этих датчиков; необходимость применения источников питания высокой частоты (от нескольких килогерц до десятков мегагерц). При низких частотах реактивное сопротивление датчика $x_c = 1/\omega C$ весьма велико, так как собственная емкость датчика мала и составляет десятки (в лучшем случае – сотни) пикофарад, а также имеются существенные погрешности от воздействия температуры окружающей среды (температура влияет на геометрические размеры датчика и на диэлектрическую проницаемость жидких и твердых диэлектриков).

Наибольшее применение емкостные датчики получили при измерении малых перемещений, параметров вибраций, размеров изделий (например, толщины ленты из диэлектрика), углов наклона, уровней жидкостей, влажности и т. п.

Более подробно с емкостными датчиками можно познакомиться по литературным источникам, приведенным в библиографическом списке в конце учебного пособия. Справочные данные по этим датчикам см., например, в [37].

9.4. Генераторные датчики

9.4.1. Термоэлектрические датчики

Термоэлектрические датчики состоят из двух разнородных проводников А и В, соединенных между собой в двух точках, как схематически показано на рис. 9.16, *а*.

На практике термоэлектрические датчики принято называть термопарами (ТП).

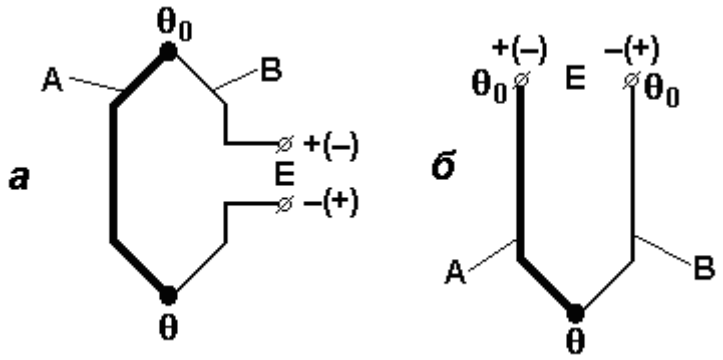


Рис. 9.16. Принципиальные схемы термоэлектрических датчиков (термопар):
A; B – проводники из разнородных материалов; θ; θ_0 – температуры спаев; E – термоЭДС

Рассмотрим схему ТП, приведенную на рис. 9.16, *а*, на которой представлена термопара из двух разнородных проводников А и В с двумя спаями. Один из спаев (рабочий, или «горячий») помещается (в соответствующей арматуре) в место измерения температуры, а другой (свободный, или «холодный») находится во внешней цепи. В нашем случае «горячий» спай ТП имеет температуру θ, а «холодный» спай ТП – θ_0.

ТермоЭДС, генерируемая термопарой, может быть записана в виде

$$E \cong K(\theta - \theta_0) \qquad (9.17)$$

где E – термоЭДС;

K – коэффициент, зависящий от материала электродов А и В.

Соотношение (9.17) соответствует линейной статической характеристике преобразования и правомерно лишь в первом приближении. Реальные характеристики ТП нелинейны и задаются, как правило, в виде таблицы. Другим приближением (9.17) является рассмотрение термоЭДС для «холостого хода». Т. е. подразумевается, что к точкам схемы (±) на рис. 9.16, *а* нет подключения какого-либо прибора. В действительности же такое подключение всегда есть, и в этом случае необходимо учитывать влияние на результирующую термоЭДС соединительных проводов. Для сведения этого влияния к минимуму используются специальные удлинительные провода, получившие название *компенсационных*. Кроме того, применяются схемные решения для компенсации температуры холодных спаев. Таким образом, при использовании ТП необходимо про-

вести подбор удлинительных проводов, выполнить компенсацию температуры холодных спаев и линеаризацию статических характеристик преобразования.

Описанный термоэлектрический эффект открыт в 1823 г. немецким физиком Зеебеком. Отсюда в литературе (особенно иностранной) прямой термоэлектрический эффект часто называют эффектом Зеебека.

В 1834 г. французский физик Пельтье открыл обратный термоэлектрический эффект, называемый также эффектом Пельтье. Суть эффекта Пельтье заключается в следующем. При протекании электрического тока через спай разнородных проводников спай нагревается при одном направлении тока и охлаждается при другом направлении тока. Нагрев или охлаждение спая прямо пропорциональны току и невелики, но все же понижения температуры спая, например, достаточно для построения микрохолодильников, которые могут использоваться при охлаждении транзисторов, интегральных микросхем и т.п. устройств. В измерительных целях обратный термоэлектрический эффект практически не используется, но учитывать его необходимо (он приводит к дополнительным погрешностям). Для сведения погрешностей от этого эффекта к минимуму надо уменьшить измерительный ток через термопару и ее спай. Это достигается использованием измерительных приборов с большим входным сопротивлением или приборов компенсационного типа.

В качестве электродов ТП могут использоваться чистые металлы, сплавы и полупроводники. Чувствительность ТП из чистых металлов составляет единицы микровольт на градус Цельсия, из сплавов – десятки микровольт на градус Цельсия, из полупроводников – сотни и даже тысячи микровольт на градус Цельсия.

Типы термоэлектрических преобразователей (ТП), условные обозначения номинальных статических характеристик (НСХ) преобразования ТП, материалы термоэлектродов и диапазоны измеряемых температур должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 8.585 – 2001 [50] (табл. 9.6).

Стандарт [50] нормирует номинальные статические характеристики (НСХ) преобразования термопар при температуре холодного спая $\theta_0 = 0I$ °С,

пределы допускаемых отклонений термоЭДС ТП от номинального значения и аппроксимирующие полиномы НСХ преобразования. НСХ преобразования ТП приведены в виде таблиц (интервал температуры рабочего (горячего) спая 1 °С). Значения термоЭДС даны с точностью до 0,001 мВ. В качестве примера ниже приведены НСХ преобразования ТП для стандартных термопар (табл. 9.7).

В соответствии с ГОСТ Р 8.585–2002 [50] могут быть использованы (кроме приведенных в табл. 9.6) следующие термопары:

ТПП (*R*) – платинородий / платиновые с диапазоном измерения от 0 до 1600 ^{0}С;

ТХК$_Н$(*E*) – хромель / константановые с диапазоном измерения от –200 до 900 ^{0}С;

ТМК$_Н$(*T*) – медь / константановые с диапазоном измерения от –200 до 400 ^{0}С;

ТНН(*N*) – нихросил / нисиловые с диапазоном измерения от –250 до 1300 ^{0}С;

ТЖК$_Н$(*J*) – железо / константановые с диапазоном измерения от 0 до 900 ^{0}С.

Таблица 9.6

Характеристики термоэлектрических преобразователей (ТП) по ГОСТ Р 8.585 – 2002 [50]

Обозначение ТП		**Материал термоэлектродов**		**Диапазон измеряемых температур, °С**
		положительного	**отрицательного**	
русское	**международное**			
1	2	3	4	5
ТВР	А–1 А–2 А–3	Сплав вольфрам-рений ВР–5 (95 % W+5 % Re)	Сплав вольфрам-рений ВР–20 (80 % W + 20 % Re)	0...2500 0...1800 0...1800
ТПР	В	Сплав платинородий ПР–30 (70 % Pt+30 % Rh)	Сплав платинородий ПР–6 (94 % Pt+6 % Rh)	600 – 1800
ТПП	S	Сплав платинородий ПР–10 (90 % Pt+10 % Rh)	Платина (Pt)	0 – 1600
ТХА	К	Сплав хромель ТНХ 9,5 (90,5 %Ni+9,5 % Cr)	Сплав алюмель НМц АК2-2-1 (94,5 % Ni+5,5 % Al, Si, Mn, Co)	минус 250 – плюс 1300
ТХК	L	Сплав хромель ТНХ 9,5 (90,5 % Ni +9,5 % Cr)	Сплав копель МНМЦ 43-0,5 (56 % Cu+44 % Ni)	минус 200 – плюс 800
ТМК	М	Медь М1 (Cu)	Сплав копель МНМЦ 43-0,5 (56 % Cu + +44 % Ni)	минус 200 – плюс 100

Примечание. Химический состав материалов термоэлектродов ориентировочный.

Таблица 9.7

Номинальные статические характеристики преобразования стандартных ТП по ГОСТ Р 8.585-2002 [50]

(температура свободных концов 0 °С). ТермоЭДС всех ТП при 0 °С E_0 = 0,000 мВ

Термоэлектрические преобразователи			**ТермоЭДС, мВ, для температуры, °С**						
Наименование	**Обозначение**		**–200**	**+100**	**800**	**1300**	**1600**	**1800**	**2500**
	русское	**международное**							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вольфрам-рений / вольфрамрениевые	ТВР	A1	–	1,337	12,934	20,589	24,593	26,998	33,640
Платинородий / платинородиевые	ТПР	B	–	–	3,154	7,848	11,263	13,591	–
Платинородий / платиновые	ТПП	S	–	0,646	7,345	13,159	16,777	–	–
Хромель / алюмелевые	ТХА	K	–5,891	4,096	33,275	52,410	–	–	–
Хромель / копелевые	ТХК	L	–9,488	6,862	66,466	–	–	–	–
Медь / копелевые	ТМК	M	–6,154	4,722	–	–	–	–	–

Конструктивно термопары выполняются в виде трубчатого чехла, содержащего в себе термоэлектроды и клеммовую головку. Материалом для чехлов служат химически стойкие тугоплавкие металлы и металлические соединения. Наиболее часто используются стали 1Х18Н9Т (до 800I °С) и Х27 (до 1300I °С), фарфор, кварц, окись алюминия (до 1600I °С) и др.

Термоэлектрические преобразователи (ТП) выпускаются серийно на многих приборостроительных предприятиях. В частности, Челябинским АПО «Теплоприбор» разработаны и освоены ТП для измерения температур в различных средах [84].

Например, платина-платинародиевые и платинародий-платинородиевые термопары ТПП-0192, ТПР-0192, ТПР-0292 предназначены для измерения температуры в окислительных средах и нейтральных газовых средах. Тепловая инерция – не более 90 с, материал защитной арматуры – корунд.

Бескорпусные термопары ТПП-0392 и ТПР-0392, а также хромель-алюмелевые ТХА-0292 и хромель-копелевые ТХК-0292 предназначены для измерения температуры воздуха, инертных газов и газов без серосодержащих веществ. Тепловая инерция – не более 5 с.

Более подробно с термоэлектрическими датчиками можно познакомиться по литературе, приведенной в библиографическом списке в конце учебного пособия (см., например, [32, 37, 50]).

9.4.2. Пьезоэлектрические датчики

Пьезоэлектрические датчики (пьезодатчики) используют свойство некоторых естественных кристаллических веществ и искусственных текстур электролизоваться под действием механических напряжений (прямой пьезоэффект) и деформироваться в электрическом поле (обратный пьезоэффект). Пьезоэффект обладает «знакочувствительностью», т. е. заряды меняют знак при замене сжатия растяжением и меняется знак деформации при изменении направления электрического поля.

Пьезоэффектом обладают многие кристаллические вещества (кварц, турмалин, сегнетовая соль и др.), а также искусственно создаваемые и специально

поляризуемые пьезокерамики (титанат бария, титанат свинца, цирконат свинца и т. п.).

Описанные эффекты поясняют рис. 9.17, *а* и рис. 9.17, *б*.

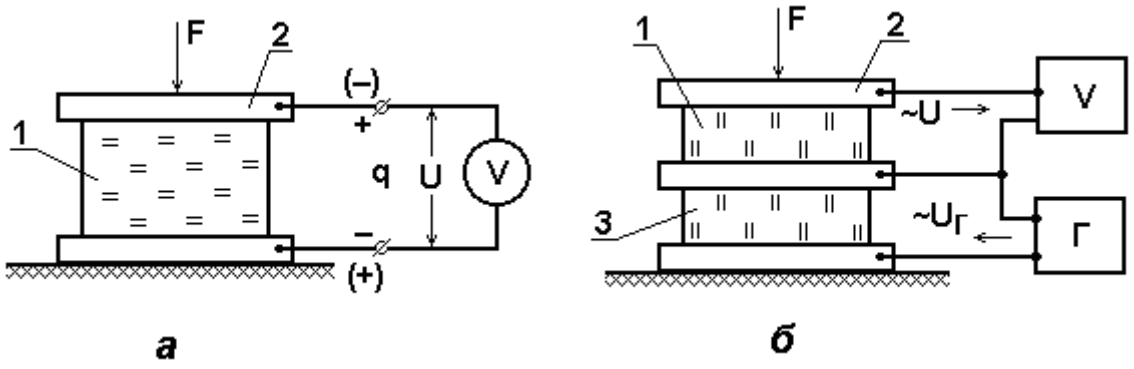


Рис. 9.17. Схемы пьезоэлектрических датчиков с одним (*а*) и двумя (*б*) пьезоэлементами: 1 – измерительные пьезоэлементы; 2 – контактные пластины; 3 – модуляционный пьезоэлемент; V – вольтметры; Г – генератор; F – сила; U – измеряемое напряжение; $U_Г$ – напряжение на выходе генератора; q – электрический заряд

Напряжение на входе вольтметра (см. рис. 9.17, *а*) запишется в виде

$$U = \frac{q}{C_0 + C_1 + C_2}, \tag{9.18}$$

где C_0 – емкость пьезодатчика;

C_1 – емкость соединительных проводов;

C_2 – входная емкость вольтметра.

Значение заряда q, возникающего на пьезоэлементе при его деформации силой F, определяется соотношением

$$q = \delta \cdot F \tag{9.19}$$

где δ – пьезомодуль.

Пьезомодуль δ зависит от материала пьезоэлемента. Например, для кварца $\delta \approx 10^{-12}$ Кл/Н; для пьезокерамики $\delta \approx 10^{-10}$ Кл/Н (табл. 9.8).

Возникающие при разовой деформации заряды стекают через входное сопротивление вольтметра и изоляцию проводников, что приводит лишь к кратковременным отклонениям вольтметра от нулевых показаний. Следовательно, пьезоэлектрические датчики по схеме рис. 9.17, *а* могут быть использованы для измерения только переменных величин (изменяющихся давлений, вибраций, ускорений и т.д.) и не пригодны для измерения статических величин.

Использование обратного пьезоэффекта позволяет строить модуляционные пьезодатчики, пригодные для измерения статических величин. Схема модуляционного пьезодатчика приведена на рис. 9.17, *б*.

Под воздействием переменного напряжения $U_Г$, подаваемого на модуляционный пьезоэлемент, последний начинает деформироваться («вибрировать») с частотой поданного напряжения. Возникшая вибрация передается на измерительный пьезоэлемент и приводит к его деформации. Причем значения деформации и, следовательно, напряжения U зависят и от «вибраций», и от значения силы F, воздействующей на систему из двух пьезоэлементов. В целом получается модуляционный пьезодатчик, пригодный для измерения статических величин.

Возможно включение одного пьезоэлемента – резонатора, в котором используются одновременно прямой и обратный пьезоэффекты. При включении такого пьезоэлемента в резонансный контур генератора частота генерируемых электрических колебаний будет определяться геометрическими размерами пьезоэлемента. При изменении геометрических размеров под воздействием, например, механических сил собственная резонансная частота пьезоэлемента изменится и соответственно изменится частота генерируемых колебаний. Этот принцип используется при измерении с помощью пьезодатчиков статических и динамических усилий, давлений и других величин, с предварительным преобразованием этих величин в частоту электрических сигналов.

Характеристики пьезодатчиков и значения коэффициентов, связывающих электрические и механические параметры, зависят от материала используемого пьезоэлемента, от его размеров и от типа среза. Для характеристики типа среза применяется условное буквенно-цифровое обозначение. От типа среза зависит характер воздействия на пьезоэлемент (продольное, поперечное, кручение, изгиб), на которое он реагирует в наибольшей степени. Характеристики некоторых материалов приведены в табл. 9.8. Пьезомодуль δ, приведенный в табл. 9.8, соответствует деформации пьезоэлемента по толщине (для турмалина – по объему) и срезу материала, обеспечивающему максимальное значение пьезомодуля

(при другом срезе и другом виде деформации рассматриваемый пьезомодуль имеет меньшее значение).

Таблица 9.8

Характеристики некоторых пьезоматериалов

Материал	ε	δ, 10^{-12} Кл/Н	$R_М$, 10^3 Ом·м	$F_Д$, 10^6 Н/м^2	Допускаемая температура, °С
Кварц	4,5	2,3	>1000	98	550
Турмалин	6,6	2,4	>100	–	–
Керамика А	1700	190	>100	80	70
Керамика В	1200	140	>100	80	70
TCL 1	1400	150	>30	–	70

Примечания: ε – относительная диэлектрическая проницаемость (при отсутствии деформации); $R_М$ – удельное объемное сопротивление; $F_Д$ – допустимое напряжение.
Более подробно с пьезоэлектрическими датчиками можно познакомиться по библиографическому списку, приведенному в конце учебного пособия (см., например, [1, 3, 32, 37]).

9.4.3. Индукционные датчики

Действие датчиков этой группы основано на использовании законов электромагнитной индукции.

По принципу действия индукционные датчики можно подразделить на две группы. В датчиках первой группы магнитное сопротивление на пути магнитного потока остается неизменным, а ЭДС наводится в катушке за счет ее перемещения (рис. 9.18, *а*) или за счет перемещения постоянного магнита (рис. 9.18, *б*). В датчиках второй группы как катушка, так и постоянный магнит неподвижны, а индуцированная ЭДС наводится за счет изменения полного магнитного сопротивления магнитной цепи (рис. 9.18, *в*).

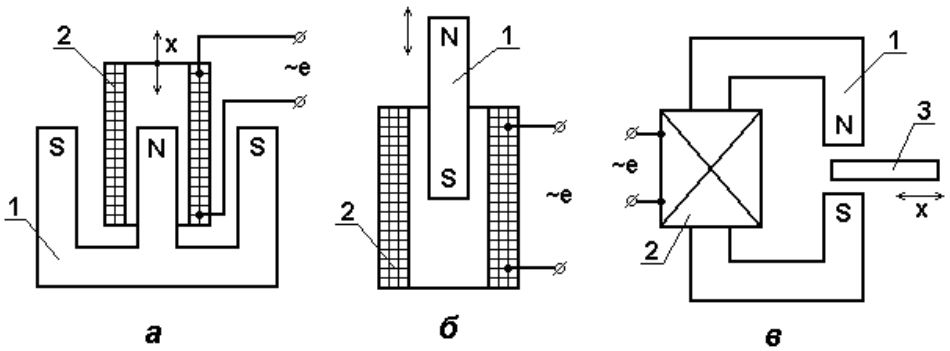


Рис. 9.18. Схемы индукционных датчиков: 1 – постоянный магнит;
2 – катушка с числом витков *w*; 3 – сердечник из магнитомягкого материала

Наводимая в катушке индукционного датчика ЭДС запишется в виде

$$e = -\frac{d\Psi}{dt} = -w\frac{d\Phi}{dt}, \qquad (9.20)$$

где e – значение ЭДС;

Ψ – потокосцепление;

t – время;

w – число витков катушки датчика;

Ф – магнитный поток.

Для первой группы датчиков наводимая ЭДС пропорциональна скорости движения катушки (или постоянного магнита) и определяется по формуле

$$e_1 = -Blw \cdot v_1, \qquad (9.21)$$

где B – магнитная индукция;

l – средняя длина одного витка катушки;

w – число витков;

v_1 – скорость движения катушки (или постоянного магнита).

Для датчиков второй группы изменение магнитного сопротивления магнитопровода осуществляется изменением воздушного зазора или с помощью подвижных ферромагнитных сердечников различной формы (как показано, например, на рис. 9.18, *в*).

При линейном изменении магнитного потока Ф в зависимости от значения воздушного зазора (или от положения подвижного сердечника) наводимая в катушке ЭДС определяется соотношением

$$e_2 = -k_2 \cdot v_2, \qquad (9.22)$$

где k_2 – коэффициент пропорциональности;

v_2 – скорость изменения воздушного зазора или подвижного сердечника.

В общем случае значение ЭДС (см. выражение (9.20)) в зависимости от величины воздушного зазора (или положения подвижного сердечника) может быть нелинейным (или функциональным). Значение ЭДС в этом случае запишется в виде

$$e_3 = -k_3 \cdot f(x), \qquad (9.23)$$

где k_3 – коэффициент пропорциональности;

x – величина воздушного зазора (или координата подвижного сердечника).

Непосредственно индукционные датчики могут применяться при измерении скорости линейного или углового перемещения, а также параметров, которые можно преобразовать в скорость (переменные усилия, переменные давления и т. п.). Совместно с интегрирующими и дифференцирующими элементами индукционные датчики можно использовать для измерения линейных или угловых перемещений и ускорений.

Индукционные датчики могут иметь частотный выход. В качестве частотного датчика индукционный датчик может иметь исполнение, например, в виде тахогенератора переменного тока. Частота напряжения, генерируемого таким генератором, определяется по формуле

$$f = \frac{p \cdot n}{60}, \tag{9.24}$$

где p – число пар полюсов тахогенератора;

n – число оборотов в минуту.

Таким образом, индукционный частотный датчик преобразует угловую скорость вала в частоту переменного тока.

Более подробно с индукционными датчиками можно познакомиться по библиографическому списку, приведенному в конце учебного пособия (см., например, [1, 3, 32, 38]).

9.4.4. Датчики Холла

Датчики этого типа используют эффект Холла, заключающийся в возникновении ЭДС на боковых гранях помещенной в магнитное поле проводящей пластинки, если по ней протекает ток (рис. 9.19).

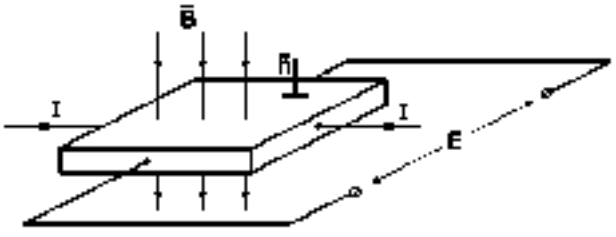


Рис. 9.19. Схема датчика Холла: I – значение тока; $\bar{B}$ – вектор магнитной индукции; E – ЭДС Холла; $\bar{n}$ – нормаль к плоскости датчика

Величина ЭДС Холла определяется выражением

$$E = \frac{1}{h} \cdot R_x \cdot I \cdot B \cdot \cos(\overline{B}\,\overline{n}), \qquad (9.25)$$

где h – толщина пластины;

R_x – постоянная Холла;

$(\overline{B}\,\overline{n})$ – угол между вектором магнитной индукции и нормалью к плоскости датчика.

Особенно значителен эффект Холла для германия (Ge), кремния (Si) и для некоторых других материалов. Постоянные Холла для полупроводниковых материалов имеют значения $(10^{-2}–10^{-4})$ м^3/(А·с), в то время как для чистых металлов – $(10^{-9}–10^{-12})$ м^3/(А·с). Например, для меди $R_x = 6 \cdot 10^{-11}$ м^3/(А·с).

Чувствительные элементы датчиков Холла имеют вид тонких пластинок (h = 0,01÷0,02 мм), которые вырезают из монокристаллов и шлифовкой доводят до необходимой толщины. Хорошими метрологическими характеристиками отличаются пленочные преобразователи Холла из тонких поликристаллических пленок на стеклянных подложках.

ЭДС Холла, как видно из выражения (9.25), пропорциональна произведению двух входных величин – тока и магнитной индукции. Соответственно датчики Холла можно использовать для измерения тока (I) или магнитной индукции (B). При этом другая («неизмеряемая величина») должна быть известна. При постоянных во времени I и B ЭДС Холла также постоянна. Если же одна из входных величин (B или I) переменная, то ЭДС Холла будет также переменной величиной с той же частотой, что и входная величина.

Данные по некоторым стандартным датчикам Холла приведены в табл. 9.9.

Таблица 9.9

Характеристики датчиков Холла

Тип	Номинальный ток, мА	Чувствительность по магнитной индукции, В/Тл	Входное сопротивление, Ом	Диапазон рабочих температур, °С	Размеры, мм	Материал
Х–111	10	0,20–0,45	30–180	-40…+80	1,5×0,8×0,2	Германий
Х–211	100	0,06–0,15	0,5–5	-60…+90	1,5×0,8×0,2	Арсенид индия
ДХГ–2	13–15	0,45	220–320	-60…+70	6×3×0,15	Германий
ДХК–14	6–9	0,6	500–1000	-150…+200	6×3×0,2	Кремний

Достоинством приборов на основе эффекта Холла является возможность измерения как постоянных, так и переменных токов, как постоянных, так и переменных магнитных индукций. Датчики Холла имеют малые размеры, что обеспечивает им хорошее пространственное разрешение. Недостатком является сравнительно большая зависимость ЭДС Холла от температуры. Основная погрешность обычно составляет от долей до единиц процентов, диапазон измерений – от тысячных долей до единиц тесла.

Более подробно с датчиками Холла можно познакомиться по библиографическому списку, приведенному в конце учебного пособия (см., например, [32, 37]).

9.4.5. Трансформаторные датчики

Трансформаторные датчики представляют собой трансформаторы, у которых под влиянием входного сигнала изменяются взаимные индуктивности обмоток, что приводит к изменению вторичного выходного напряжения.

Различают два вида трансформаторных датчиков: с подвижным сердечником и с подвижной обмоткой.

Датчики первого вида, в свою очередь, подразделяются на датчики с замкнутой и разомкнутой магнитными системами. По аналогии с индуктивными датчиками рассматриваемые датчики могут быть нормальными и диффе-

ренциальными, короткоходовыми и длинноходовыми. Примеры трансформаторных датчиков различного исполнения приведены на рис. 9.20.

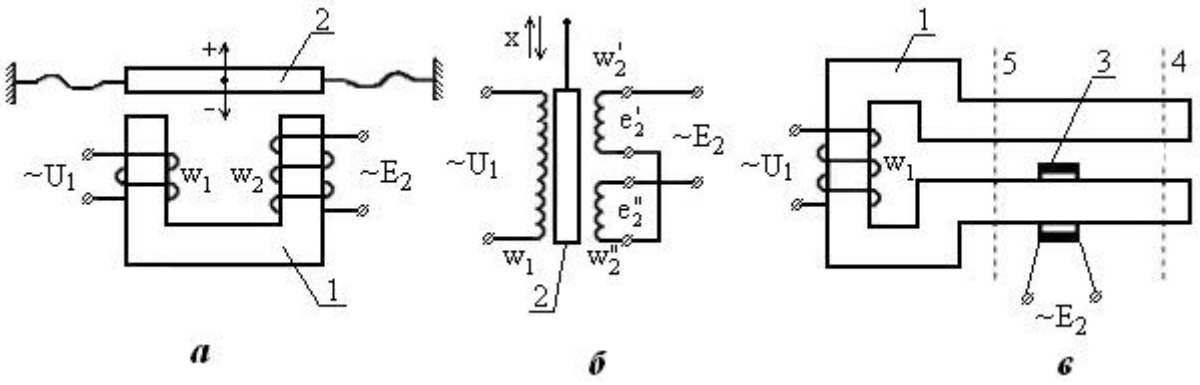


Рис. 9.20. Схемы трансформаторных датчиков: 1 – магнитопроводы из магнитомягкого материала; 2 – сердечники из магнитомягкого материала; 3 – подвижная катушка с числом витков w_2 (перемещается от положения 4 до положения 5)

На рис. 9.20, *а* изображен одинарный короткоходовый трансформаторный датчик нормального исполнения с замкнутым магнитопроводом. На первичную обмотку w_1 этого датчика подается от источника питания переменное напряжение U_1. Наводимая во вторичной обмотке ЭДС E_2 запишется в виде

$$E_2 = \omega \cdot \frac{w_2}{w_1} \cdot \frac{F}{Z_м} = f(x) \ , \qquad (9.26)$$

где ω – угловая частота;

w_1 – число витков первичной обмотки;

w_2 – число витков вторичной обмотки;

F – магнитодвижущая сила;

$Z_М$ – магнитное сопротивление;

x – координата сердечника.

Таким образом, выходная ЭДС E_2 рассматриваемого датчика зависит от положения его сердечника, т. е. датчик преобразует перемещение сердечника в ЭДС E_2 (чем ближе сердечник к магнитопроводу, тем E_2 больше; чем дальше сердечник от магнитопровода, тем E_2 меньше). График зависимости $E_2 = f(x)$ приведен на рис. 9.21, *а*.

На рис. 9.20, *б* изображен дифференциальный длинноходовый датчик с разомкнутым магнитопроводом.

На первичную обмотку w_1 этого датчика подается переменное напряжение U_1. Во вторичной обмотке w'_2 наводится ЭДС e'_2, а во вторичной обмотке w''_2 наводится ЭДС e''_2. Благодаря встречному включению вторичных обмоток выходная ЭДС E_2 запишется в виде

$$E_2 = e'_2 - e''_2 = f(x), \tag{9.27}$$

где x – координата сердечника датчика.

Очевидно, что при некотором среднем положении сердечника $e'_2 = e''_2$ и $E_2 = 0$. При перемещении сердечника «вверх» (в сторону «+x») ЭДС e'_2 становится больше ЭДС e''_2 и $E_2 \neq 0$. При перемещении сердечника «вниз» (в сторону «–x») ЭДС e''_2 становится больше ЭДС e'_2 и $E_2 \neq 0$. График зависимости $E_2 = f(x)$ приведен на рис. 9.21, *б*.

На рис. 9.20, *в* изображен трансформаторный датчик с подвижной катушкой, которая может перемещаться от положения 4 до положения 5 вдоль магнитопровода. Наводимая в подвижной катушке ЭДС E_2 зависит от взаимной индуктивности между обмоткой этой катушки (являющейся вторичной) и обмоткой первичной катушки, на которую подается питающее переменное напряжение U_1. Датчик (рис. 9.20, *в*) предназначен для измерения больших линейных перемещений и, кроме катушек, содержит магнитопровод с рабочей частью в виде двух параллельных полос. При перемещении обмотки 3 от положения 4 до положения 5 индуцированная в обмотке 3 ЭДС возрастает. Зависимость ЭДС E_2 от координаты подвижной катушки «x» близка к линейной, если магнитное сопротивление участка магнитопровода 4–5 мало по сравнению с магнитным сопротивлением воздушного зазора. График зависимости $E_2 = f(x)$ для рассматриваемого датчика приведен на рис. 9.21, *в*.

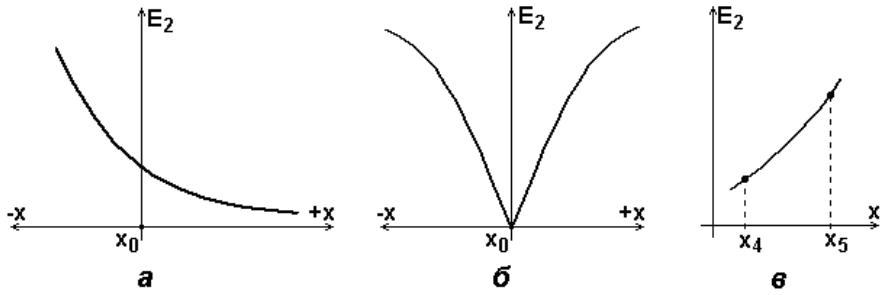


Рис. 9.21. Графики статических характеристик преобразования трансформаторных датчиков: *а* – для датчика нормального исполнения (рис. 9.20, *а*); *б* – для датчика дифференциального исполнения (рис. 9.20, *б*); *в* – для датчика с подвижной катушкой (рис. 9.20, *в*)

Трансформаторные датчики применяют для измерения линейных и угловых перемещений, а также для измерения физических величин, которые могут быть преобразованы в линейное или угловое перемещение (например, для измерения давления, расхода, силы и т. п.).

Трансформаторные датчики имеют много общего с датчиками индуктивными (область применения, достоинства, недостатки, конструкция и т. д.), но имеют и ряд преимуществ перед индуктивными датчиками. Их преимущества перед последними: отсутствие необходимости в использовании измерительных схем и отсутствие гальванической связи между цепями выхода и питания. К недостаткам трансформаторных датчиков следует отнести наличие температурных погрешностей, а также погрешностей от воздействия внешних электромагнитных полей и ферромагнитных тел. Существует даже ряд исполнений трансформаторных датчиков, реагирующих на приближение ферромагнитных тел и снабженных схемой с релейным выходом (реле близости).

Более детально с трансформаторными датчиками можно познакомиться по библиографическому списку, приведенному в конце учебного пособия (см., например, [1, 3, 32, 37]).

В настоящем учебном пособии рассмотрены наиболее распространенные типы датчиков, но далеко не все из известных датчиков и их разновидностей. Не рассмотрены в учебном пособии: ионизационные датчики, электромашинные, механотронные, струнные, электролитические, оптоэлектронные, магниторезистивные, электрохимические и некоторые другие. Часть из этих датчиков (например, ионизационные) рассматриваются в других учебных курсах, часть

из них (например, оптоэлектронные) являются разновидностью рассмотренных датчиков, часть носит узко специальный характер, а часть – сравнительно редко используется на практике. При необходимости со всеми перечисленными датчиками можно познакомиться по библиографическому списку, приведенному в конце учебного пособия (см., например, [3, 37, 38]).

9.5. Тенденции развития датчикостроения

Тенденции в развитии построения датчиков подчинены основным требованиям, которые предъявляются к современным средствам измерений: высокая точность и надежность, взаимозаменяемость отдельных узлов и элементов, самонастройка, устойчивость к внешним воздействиям, малые габариты и т. п.

Для реализации перечисленных требований постоянно совершенствуется технология изготовления датчиков и используются новые принципы их построения. Все шире в датчикостроении применяется интегральная микросхемная технология, все чаще датчики изготавливаются с использованием «*p*-*n*»-переходов, монокристаллов, тонких пленок. Применение, например, полупроводниковых материалов позволяет в ряде случаев значительно увеличить чувствительность и быстродействие датчиков, а также уменьшить их габариты и вес. Усовершенствование технологии и получение новых полупроводников на основе, например, кремния и арсенида галлия позволит в дальнейшем улучшить и другие характеристики датчиков (стабильность, повторяемость характеристик, устойчивость, взаимозаменяемость и т. п.).

Большие возможности имеет использование принципиально новых (по своим свойствам) материалов. К таким материалам, кроме уже упомянутых, можно отнести классические сверхпроводники и высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП). Отметим, что классическая сверхпроводимость открыта голландским физиком Камерлинг-Оннесом в 1911 г. и проявляется при температурах, близких к температуре абсолютного нуля (например, при температуре жидкого гелия). В силу этого практическое использование данных материалов затруднено. Более перспективны ВТСП. Высокотемпературная сверхпроводимость, открытая в 1986 г., проявляется при температурах близких к температуре

жидкого азота. Например, материал $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ переходит в сверхпроводящее состояние при температуре около 90 К (–183 ^{0}C). Графики зависимостей $R = f(T)$ для этого материала приведены на рис. 9.22.

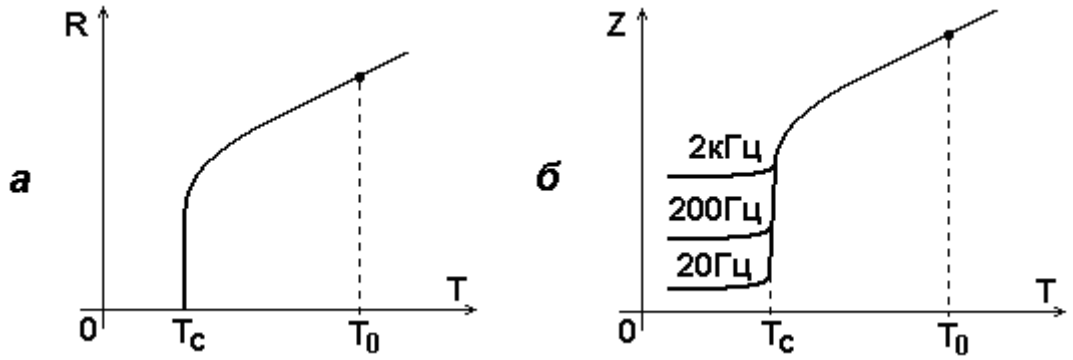


Рис. 9.22. Графики зависимостей $R = f(T)$ и $Z = f(T)$ для материала $YBa_2Cu_3O_{7-x}$: *а* – измерения на постоянном токе; *б* – измерения на переменном токе

На рис. 9.22 приняты следующие обозначения: R – электрическое сопротивление; T – абсолютная температура в кельвинах (К); T_0 – исходная (комнатная) температура (T_0 = 373 К); T_C – критическая температура, при которой исследуемый материал переходит в сверхпроводящее состояние.

Отметим, что характер рассматриваемых зависимостей существенно изменяется при переходе от постоянного тока (рис. 9.22, *а*) к переменному (рис. 9.22, *б*). Если на постоянном токе при температуре T_C рассматриваемый материал переходит в сверхпроводящее состояние, то на переменном токе этого не происходит. На переменном токе следует рассматривать полное сопротивление $Z = R+jX$, где R – активная составляющая, а X – реактивная составляющая полного сопротивления. На переменном токе тоже есть «сверхпроводящий переход» при температуре материала T_C, но сверхпроводимость не наступает. За счет реактивной составляющей при T_C (и более низких температур) всегда имеется «остаточное сопротивление». Причем значение остаточного сопротивления растет с ростом частоты переменного тока, протекающего по исследуемому материалу (см. рис. 9.22, *б*). Описанные ВТСП благодаря их уникальным свойствам вполне могут послужить основой для построения датчиков нового поколения с новыми, присущими только им, характеристиками.

10. ДИНАМИКА ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

10.1. Исходные данные

В данной главе учебного пособия рассмотрена динамика термочувствительных датчиков при измерении с их помощью температуры окружающей среды. Представлено два случая: при изменении измеряемой температуры скачком и при ее изменении по линейному закону. Схема размещения датчика и принятые обозначения приведены на рис. 10.1.

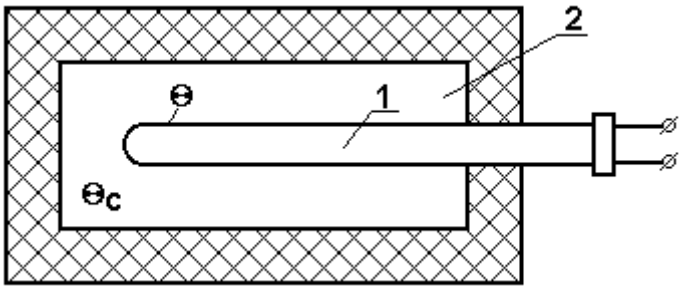


Рис. 10.1. Схема размещения датчика: 1 – датчик; 2 – среда (жидкость, газ), температура которой измеряется; θ – температура датчика; θ_C – температура среды

Датчики температуры (например, терморезисторы или термопары) обычно имеют защитные чехлы, предохраняющие их от различных механических и химических воздействий. Наличие защитных чехлов значительно повышает инерционность датчиков, что приводит к росту «отставания» его температуры от температуры окружающей среды. Это обстоятельство еще раз подчеркивает большое значение анализа динамических свойств датчиков температуры.

Для облегчения анализа примем ряд допущений. Будем полагать, что присутствие датчика не изменяет температуру окружающей среды и что рассматривается некоторая усредненная тепловая инерция датчика без разделения ее на тепловую инерцию чувствительного элемента, защитного чехла (одного или нескольких) и наполнителя, находящегося между защитным чехлом и чувствительным элементом, т. е. будем полагать, что рассматривается некоторый идеальный датчик, для которого правомерны допущения:

1) датчик монолитный и однородный;
2) термочувствительный элемент занимает весь объем датчика.

Конструкция стандартных датчиков с защитной арматурой не соответствует принятым допущениям (нет монолитности, однородности, и термочувствительный элемент занимает часть объема датчика).

Принятым допущениям соответствуют датчики, схемы которых приведены на рис. 10.2.



Рис. 10.2 Схемы идеальных термочувствительных датчиков:
а – терморезистор; *б* – термопара; θ – температура датчика; θ_C – температура среды

Для вывода дифференциального уравнения, описывающего изменение температуры датчика, предполагаем, что датчик с температурой θ помещается в среду с температурой θ_C. При этом на нагрев датчика будет расходоваться тепло dQ_1, связанное с параметрами датчика и его температурой соотношением

$$dQ = m \cdot c \cdot d\theta, \qquad (10.1)$$

где m – масса датчика;

c – удельная теплоемкость материала датчика.

Тепло dQ_2, передаваемое датчиком среде, определяется соотношением

$$dQ_2 = S \cdot \beta \cdot (\theta_c - \theta) dt \qquad (10.2)$$

где S – площадь поверхности датчика;

β – коэффициент теплопередачи;

t – время.

Условие теплового равновесия $dQ_1 = dQ_2$ запишется в виде

$$m \cdot c \cdot d\theta = S \cdot \beta \cdot (\theta_c - \theta) dt \qquad (10.3)$$

Выражение (10.3) может быть приведено к виду

$$T \cdot \dot{\theta} + \theta = \theta_c, \qquad (10.4)$$

где $T = \dfrac{m \cdot c}{S \cdot \beta}$ – постоянная времени;

$\dot{\theta} = \frac{d\theta}{dt}$ – первая производная от θ по времени.

Отметим, что *T* имеет размерность времени, а соотношение (10.4) является дифференциальным уравнением, описывающим поведение датчика температуры в динамическом режиме.

Выражение (10.4) правомерно для «идеальных» датчиков (см. рис. 10.2) и для принятых допущений. При наличии, например, защитного чехла появляется время чистого запаздывания, а при использовании многослойной изоляции кроме чистого запаздывания усложняется и зависимость θ = *f*(*t*) (в дальнейшем θ(*t*)); соответствующее дифференциальное уравнение имеет более сложный вид, чем соотношение (10.4). Более детально данный вопрос освещен в литературе [3, 27, 32].

10.2. Скачкообразное изменение температуры

Начальные условия

При скачкообразном изменении температуры среды, окружающей датчик (от 0 до θ_0, рис. 10.3), исследуемое дифференциальное уравнение (10.4) принимает вид

$$T \cdot \dot{\theta}(t) + \theta(t) = \theta_0 \qquad (10.5)$$

где θ_0 – постоянная величина.

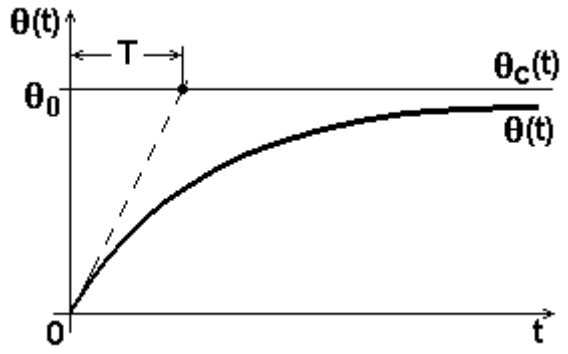


Рис. 10.3. Графики зависимостей θ_c (*t*) и θ (*t*) при скачкообразном изменении температуры окружающей датчик среды: $\theta_C(t)$ – температура окружающей среды; θ(*t*) – температура датчика

Начальные условия в рассматриваемом случае запишутся

для $t = 0$ $\theta(t) = 0$, $\theta_c = \theta_0$

Классический метод анализа

При классическом методе анализа дифференциального уравнения (10.5) решение имеет вид

$$\theta(t) = \theta_n(t)+\theta_y(t) \tag{10.6}$$

где $\theta_n(t)$ – характеризует переходный режим (общее решение);

$\theta_y(t)$ – характеризует установившийся режим (частное решение).

Общее решение исследуемого дифференциального уравнения (10.5) находится из однородного уравнения (10.7), на основе которого составляется характеристическое уравнение (10.8), имеющее корень λ (10.9).

$$T\cdot\lambda+1 = 0 \tag{10.8}$$

$$\lambda = -\frac{1}{T} \tag{10.9}$$

В данном случае характеристическое уравнение имеет один вещественный корень, и соответственно $\theta_n(t)$ имеет вид

$$\theta_n(t) = B\cdot e^{\lambda t} = B\cdot e^{-t/T} \tag{10.10}$$

где B – постоянная интегрирования.

Значение $\theta_y(t)$ определяется видом правой части исходного уравнения (10.5). При постоянной правой части (что имеет место в рассматриваемом случае) $\theta_y(t)$ – тоже постоянная величина:

$$\theta_y(t) = C \tag{10.11}$$

Таким образом, $\theta(t)$ и $\dot{\theta}(t)$ запишутся в виде

$$\theta(t) = B\cdot e^{-t/T} + C \tag{10.12}$$

$$\dot{\theta}(t) = -\frac{1}{T}\cdot B\cdot e^{-t/T} + 0 \tag{10.13}$$

Подставляя значения $\theta(t)$ и $\dot{\theta}(t)$ в (10.7), получим

$$T\left(-\frac{1}{T}\cdot B\cdot e^{-t/T}\right) + B\cdot e^{-t/T} + C = \theta_0$$

или

$$-B\cdot e^{-t/T} + B\cdot e^{-t/T} + C = \theta_0$$

После приведения подобных (в последнем соотношении) определяется значение $C = \theta_0$.

Подставляя значение $C = \theta_0$ в (10.12), получим

$$\theta(t) = B \cdot e^{-t/T} + \theta_0 .$$

Для нахождения постоянной интегрирования «В» воспользуемся начальными условиями (при $t = 0$ $\theta(t) = 0$).

$$0 = B \cdot e^{0} + \theta_0 .$$

Учитывая, что $e^0 = 1$, находим, что постоянная интегрирования $B = -\theta_0$.

Итак, окончательно решение дифференциального уравнения (10.5) запишется в виде

$$\theta(t) = -\theta_0 \cdot e^{-t/T} + \theta_0 = \theta_0 (1 - e^{-t/T}) . \qquad (10.14)$$

Таким образом, при скачкообразном изменении температуры окружающей среды температура датчика изменяется по экспоненциальному закону. График зависимости $\theta = f(t)$ в соответствии с выражением (10.14) приведен на рис. 10.3.

Отметим, что с погрешностью ±5 % переходный процесс заканчивается за время, равное трем постоянным времени датчика T, т. е. через $t = 3T$ можно считать, что с указанной погрешностью температура датчика становится равной температуре окружающей среды.

За время $t = 5T$ переходный процесс заканчивается с погрешностью ±1 %.

Другими словами, за время $3T$ проходит 95 % переходного процесса, а за время $5T$ проходит 99 % переходного процесса.

Таким образом, постоянная времени T характеризует тепловую инерционность датчика. При больших T датчик медленно реагирует на изменения температуры окружающей среды, а при малых T датчик быстро «отрабатывает» изменения температуры.

В паспортных данных датчиков обычно приводятся значения не постоянной времени T, а значения близкой к ней величины, называемой «показатель тепловой инерции (ПТИ)». *ПТИ* по определению – это время, необходимое для

того, чтобы при внесении датчика в среду с постоянной температурой разность температур среды и любой точки внесенного в нее датчика стала равной 0,37 того значения, которое она имела бы в момент наступления регулярного теплового режима [51].

Различают датчики малоинерционные (ПТИ<10 секунд), датчики средней инерционности (ПТИ от 10 до 60 секунд) и датчики большой инерционности (ПТИ>60 секунд).

Метод определения показателя тепловой инерции изложен в литературе (см., например, [27]) и в настоящем учебном пособии не рассматривается. Значения показателя тепловой инерции для различных типов датчиков приведены, например, в справочнике [37].

Операторный метод анализа

При операторном методе решения дифференциального уравнения (10.5) необходимо его представить в виде операторного изображения, используя для этого преобразование Лапласа (подробней см. в литературе [29–32]):

$$T\cdot[p\cdot\theta(p)-\theta(0)]+\theta(p)=\theta_0/p \qquad (10.15)$$

где $\theta(p)$ – изображение по Лапласу оригинала $\theta(t)$;

$\theta(0)$ – значение $\theta(t)$ при $t = 0$.

Начальные условия для рассматриваемого уравнения сформулированы выше (отметим, что при t = 0 $\theta(0) = 0$; $\theta_c(0) = \theta_0$.

Решая уравнение (10.15) относительно $\theta(p)$ с учетом начальных условий, получим

$$\theta(p)=\frac{\theta_0}{p(Tp+1)} \qquad (10.16)$$

Для перехода от изображения $\theta(p)$ к оригиналу $\theta(t)$ воспользуемся данными табл. 10.1.

Таблица 10.1

Значения оригиналов и их изображений по Лапласу

№ п/п	Оригинал	Изображение
1	2	3
1	A	$\frac{A}{p}$
2	t	$1/p^2$
3	$f(t)$	$F(p)$
4	$e^{-\alpha t}$	$\frac{1}{p+\alpha}$
6	$t \cdot e^{-\alpha t}$	$\frac{1}{(p+\alpha)^2}$
7	$\frac{t}{\alpha} - \frac{1}{\alpha^2} + \frac{e^{-\alpha t}}{\alpha^2}$	$\frac{1}{p^2(p+\alpha)}$
5	$1 - e^{-\alpha t}$	$\frac{\alpha}{p(p+\alpha)}$

Для приведения выражения (10.16) к табличному виду разделим числитель и знаменатель этого выражения на величину T. При этом равенство (10.16) принимает вид

$$\theta(p) = \theta_0 \frac{1/T}{p(p+1/T)} \qquad (10.17)$$

Выражение (10.17) соответствует табличному значению изображения, приведенного в таблице под номером «5» (при $a = 1/T$).

Тогда в соответствии с таблицей оригинал изображения (10.17) запишется в виде

$$\theta(t) = \theta_0(1 - e^{-t/T}). \qquad (10.18)$$

Выражение (10.18) полностью совпадает с выражением (10.14), которое получено классическим методом. Соответственно полностью правомерны выводы по результатам решения дифференциального уравнения (10.5), сделанные выше.

10.3. Линейное изменение температуры

Начальные условия

При линейном изменении температуры окружающей среды, окружающей датчик (рис. 10.4), исследуемое дифференциальное уравнение (10.4) принимает следуюший вид:

$$T \cdot \dot{\theta}(t) + \theta(t) = \theta_0 + b \cdot t \qquad (10.19)$$

где b – коэффициент, характеризующий скорость линейного изменения температуры окружающей среды.

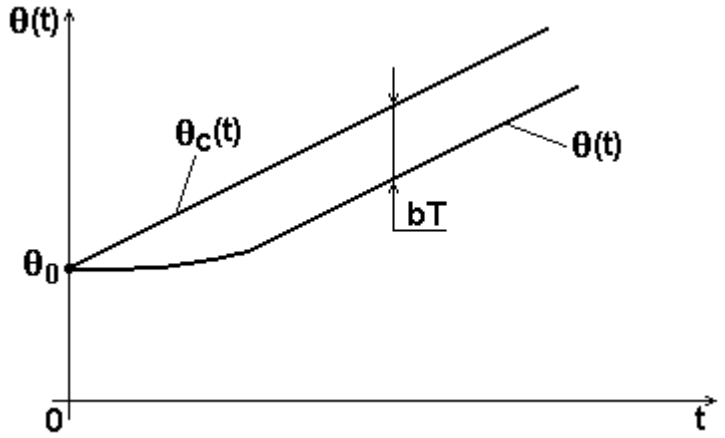


Рис. 10.4. Графики зависимостей $\theta_c(t)$ и $\theta(t)$ при линейном изменении температуры окружающей среды: $\theta_c(t)$ – температура окружающей среды; $\theta(t)$ – температура датчика

Начальные условия в рассматриваемом случае запишутся

для $t = 0$ $\theta(t) = 0$, $\theta_c = \theta_0$

Классический метод анализа

При классическом методе анализа дифференциального уравнения (10.19) остаются в силе положения, изложенные выше.

Величины $\theta_n(t)$ и $\theta_y(t)$ при этом принимают вид

$$\theta_n(t) = B \cdot e^{-t/T}, \qquad (10/20)$$

$$\theta_y(t) = C + D \cdot t, \qquad (10.21)$$

где B – постоянная интегрирования;

C и D – постоянные коэффициенты.

Соответственно $\theta(t)$ и $\dot{\theta}(t)$ и запишутся в виде

$$\theta(t) = B \cdot e^{-t/T} + C + D \cdot t\,, \tag{10.22}$$

$$\dot{\theta}(t) = -\frac{1}{T} B \cdot e^{-t/T} + D\,. \tag{10.23}$$

Подставляя значения $\theta(t)$ и $\dot{\theta}(t)$ в исходное дифференциальное уравнение (10.19), получим

$$T\left[-\frac{1}{T} \cdot B \cdot e^{-\frac{t}{T}} + D\right] + B \cdot e^{-\frac{t}{T}} + C + D \cdot t = \theta_0 + b \cdot t\,. \tag{10.24}$$

Раскрыв скобки и выполнив приведение подобных, приводим выражение (10.24) к виду

$$T \cdot D + C + D \cdot t = \theta_0 + b \cdot t\,. \tag{10.25}$$

Уравнение (10.25) правомерно, если равны коэффициенты при переменной величине t, имеющей равные степени.

Отсюда получим:

для t^0 $$T \cdot D + C = \theta_0, \tag{10.26}$$

для t^1 $$D = b\,. \tag{10.27}$$

Совместное решение уравнений (10.26) и (10.27) дает значение коэффициента C:

$$C = \theta_0 - b \cdot T \tag{10.28}$$

Подставляя значения коэффициентов D и C в уравнение (10.28), получим

$$\theta(t) = B \cdot e^{-t/T} + \theta_0 - b \cdot T + b \cdot t\,. \tag{10.29}$$

Для определения постоянной интегрирования B воспользуемся начальными условиями (при $t = 0$ $\theta(0) = \theta_0$):

$$\theta_0 = B \cdot e^0 + \theta_0 - b \cdot T + b \cdot 0\,, \tag{10.30}$$

откуда получаем

$$B = b \cdot T\,. \tag{10.31}$$

В окончательном виде температура датчика запишется в виде

$$\theta(t) = \theta_0 + b \cdot t - b \cdot T(1 - e^{-t/T}). \qquad (10.32)$$

График зависимости $\theta = f(t)$ для рассматриваемого случая приведен на рис. 10.4.

Приведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1) при линейном изменении температуры окружающей среды температура датчика не равна этой температуре даже после окончания переходного процесса (при $t \to \infty$);

2) температура датчика меньше температуры окружающей среды на величину $b \cdot T$, где b – коэффициент, характеризующий скорость изменения температуры среды, а T – постоянная времени датчика, характеризующая его тепловую инерцию;

3) динамическая погрешность при измерении линейно изменяющейся температуры окружающей среды датчиком с постоянной времени T растет с ростом величин «b» и «T» и уменьшается при уменьшении величин «b» и «T».

Операторный метод анализа

В операторной форме уравнение (10.19) принимает вид

$$T\left[p \cdot \theta(p) - \theta(0)\right] + \theta(p) = \theta_0 / p + b / p^2, \qquad (10.33)$$

где $\theta(p)$ – изображение по Лапласу оригинала $\theta(t)$;

$\theta(0)$ – значение $\theta(t)$ при $t = 0$.

Начальные условия в рассматриваемом случае сформулированы выше (отметим, что при $t = 0$ $\theta(t) = \theta_0$; т. е. $\theta(0) = \theta_0$).

Решая уравнение (10.33) относительно $\theta(p)$ с учетом начальных условий, получим

$$\theta(p) = \frac{b + p \cdot \theta_0 + p^2 \cdot \theta_0 \cdot T}{p^2(Tp + 1)} \qquad (10.34)$$

или

$$\theta(p) = \frac{b}{p^2(Tp + 1)} + \frac{\theta_0}{Tp + 1} + \frac{\theta_0 \cdot T}{Tp + 1} \qquad (10.35)$$

Для приведения выражения (10.35) к табличному виду (см. табл. 10.1) разделим числитель и знаменатель этого выражения на величину T.

После деления на величину T и проведения необходимых преобразований выражение (10.35) примет вид

$$\theta(p) = \frac{b}{T} \cdot \frac{1}{p^2(p+1/T)} + \theta_0 \cdot \frac{1/T}{p(p+1/T)} + \theta_0 \cdot \frac{1}{p+1/T} \qquad (10.36)$$

Первый член выражения (10.36) соответствует изображению, приведенному в табл. 10.1 под номером 7, второй – под номером 5 и третий – под номером 4 (при $a = 1/T$).

Оригинал изображения (10.36) имеет вид

$$\theta(t) = \frac{b}{T} \cdot \left(\frac{t}{1/T} - \frac{1}{1/T^2} + \frac{e^{-t/T}}{1/T^2} \right) + \theta_0(1 - e^{-t/T}) + \theta_0 \cdot e^{-t/T} \qquad (10.37)$$

Раскрыв скобки и выполнив приведение подобных, окончательно получим

$$\theta(t) = \theta_0 + b \cdot t - bT(1 - e^{-t/T}) \qquad (10.38)$$

Выражение (10.38) целиком совпадает с выражением (10.32), полученным при анализе исследуемого дифференциального уравнения классическим методом. Соответственно полностью правомерны выводы, сделанные выше и для рассматриваемого случая при анализе дифференциального уравнения (10.19) операторным методом.

11. МОСТОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ

11.1. Общие положения

В данной главе рассмотрены основные соотношения и терминология, используемые при анализе четырехплечих мостовых измерительных схем постоянного тока (рис. 11.1).

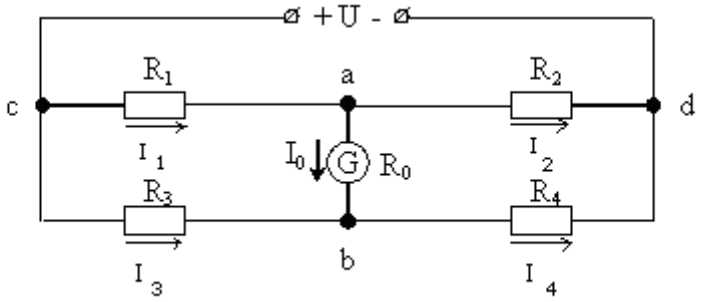


Рис. 11.1. Принципиальная электрическая схема четырехплечего измерительного моста: *U* – напряжение источника питания; *G* – измерительный прибор (например, микроамперметр магнитоэлектрической системы); *a–b* – измерительная диагональ; *c–d* – питающая диагональ; *c–a* – первое, *a–d* – второе, *c–b* – третье, *b–d* – четвертое плечи мостовой схемы; R_0 – внутренне сопротивление прибора в измерительной диагонали; I_0 – ток в измерительной диагонали

В рассматриваемом случае сопротивления плеч мостовой измерительной схемы равны R_1, R_2, R_3, R_4.

Ток в измерительной диагонали I_0 связан с остальными параметрами мостовой схемы соотношением

$$I_0 = U \cdot \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_0 (R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1 R_2 (R_3 + R_4) + R_3 R_4 (R_1 + R_4)}. \qquad (11.1)$$

Соотношение (11.1) может быть получено путем анализа мостовой измерительной схемы, приведенной на рис. 11.1, одним из методов электротехники (например, с использованием первого и второго законов Кирхгофа). Выражение (11.1) обычно именуют основным соотношением для таковой мостовой измерительной схемы.

При равновесии мостовой схемы ток в измерительной диагонали I_0 тождественно равен нулю. Отметим также, что если в момент считывания показа-

ний ток $I_0 = 0$, то мостовая схема называется равновесной, а если в момент считывания показаний ток $I_0 \neq 0$, то мостовая схема называется неравновесной.

Если значение R_0 (см. рис. 11.1) во много раз превосходит каждое из сопротивлений плеч моста, то мостовая схема называется потенциальной. Для потенциальных мостовых измерительных схем обычно принимают $R_0 \to \infty$, что позволяет считать ток $I_0 = 0$ и в качестве выходной величины рассматривать напряжение на измерительной диагонали U_0.

В этом случае падение напряжения на измерительной диагонали $U_0 = U_{ab}$ запишется в виде

$$U_0 = U_{ab} = U_a - U_b, \tag{11.2}$$

где U_a – потенциал точки a;

U_b – потенциал точки b.

$$U_a = I_1 \cdot R_1 = R_1 \cdot \frac{U}{R_1 + R_2}, \tag{11.3}$$

$$U_b = I_3 \cdot R_3 = R_3 \cdot \frac{U}{R_3 + R_4}, \tag{11.4}$$

где U , R_1, R_2, R_3, R_4 – определены выше.

Подставляя значения U_a и U_b в (11.2), получим

$$U_0 = U \frac{R_1(R_3 + R_4) - R_3 \cdot (R_1 + R_2)}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} \tag{11.5}$$

После раскрытия скобок и приведения подобных выражение (11.5) принимает вид

$$U_0 = U \frac{R_1 \cdot R_4 - R_2 \cdot R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}. \tag{11.6}$$

Выражение (11.6) обычно именуют основным соотношением для потенциальной мостовой схемы.

При равновесии потенциальной мостовой схемы напряжение в измерительной диагонали U_0 тождественно равно нулю. Отметим также, что если в момент считывания показаний напряжение $U_0 = 0$, то любая мостовая схема на-

зывается равновесной, а если в момент считывания показаний напряжение $U_0 \neq 0$, то мостовая схема называется неравновесной.

Выражения (11.1) и (11.6) свидетельствуют, что как для токовой, так и для потенциальной мостовых измерительных схем равновесие наступает при выполнении условия

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3, \tag{11.7}$$

где R_1, R_2, R_3 и R_4 – определены выше.

Подробный анализ равновесных и неравновесных мостовых измерительных схем с выходом по току («токовые схемы») и с выходом по напряжению («потенциальные схемы») приводится ниже, в последующих главах учебного пособия.

Мостовые схемы с токовым выходом («токовые схемы») используются в том случае, когда внутреннее сопротивление измерительного прибора R_0 примерно равно каждому из сопротивлений плеч моста R_1, R_2, R_3, R_4 или отличается от них не более чем в 15–20 раз.

11.2. Основные соотношения при исследовании чувствительности

Для мостовых измерительных схем могут быть определены их чувствительности по мощности $S(P_0)$, по напряжению $S(U_0)$ и по току $S(I_0)$.

$$S(P_0) = \lim_{\Delta R \to 0} \frac{\Delta P_0}{\Delta R}, \tag{11.8}$$

$$S(U_0) = \lim_{\Delta R \to 0} \frac{\Delta U_0}{\Delta R}, \tag{11.9}$$

$$S(I_0) = \lim_{\Delta R \to 0} \frac{\Delta I_0}{\Delta R}, \tag{11.10}$$

где P_0, U_0, I_0 – соответственно мощность, напряжение и ток в измерительной диагонали;

ΔP_0, ΔU_0, ΔI_0 – изменения мощности, напряжения и тока в измерительной диагонали;

ΔR – изменение сопротивления датчика (вызвавшее изменение мощности, напряжения или тока в измерительной диагонали мостовой схемы).

При размещении датчика в 1–м плече мостовой схемы $\Delta R = \Delta R_1$, при размещении во 2–м плече $\Delta R = \Delta R_2$ и т. д. При размещении нескольких датчиков в одном, двух или нескольких плечах мостовой схемы ΔR имеет некоторое эквивалентное значение, зависящее от числа датчиков и от их размещения. Порядок определения эквивалентных значений ΔR рассмотрен ниже, в последующих главах учебного пособия.

Чувствительность по мощности, напряжению и току может быть оценена по приближенным формулам:

$$S(P_0) \approx \frac{\Delta P_0}{\Delta R}, \tag{11.11}$$

$$S(U_0) \approx \frac{\Delta U_0}{\Delta R}, \tag{11.12}$$

$$S(I_0) \approx \frac{\Delta I_0}{\Delta R}. \tag{11.13}$$

Чувствительность по мощности рассматривается в том случае, когда в измерительной диагонали включен прибор, внутреннее сопротивление которого соизмеримо с сопротивлениями плеч мостовой схемы. Например, при использовании приборов магнитоэлектрической системы, что обычно имеет место на практике, справедливо соотношение

$$\alpha = k \cdot \sqrt{\frac{P_0}{R_0}} \tag{11.14}$$

где α – показание прибора; k – постоянный коэффициент; P_0 – мощность, потребляемая прибором; R_0 – внутреннее сопротивление прибора.

Таким образом, при R_0 = const показания выходного прибора пропорциональны корню квадратному из мощности, потребляемой прибором.

Чувствительность по напряжению рассматривается в том случае, когда в измерительную диагональ включен прибор, внутреннее сопротивление которого значительно больше сопротивлений плеч мостовой схемы ($R_0 \to \infty$). На практике этот случай имеет место, когда в качестве измерителей используются, например, электронные вольтметры.

11.3. Основные соотношения при исследовании линейности

В данном параграфе учебного пособия приводятся основные соотношения при исследовании линейности четырехплечих мостовых измерительных схем (см. рис. 11.1) постоянного тока с выходом по току и по напряжению.

О линейности (или нелинейности) токовых мостовых измерительных схем можно судить по характеру зависимости (11.15), получаемой из (11.1) при изменении сопротивления датчика (или датчиков).

$$I_0 = f(\Delta R), \qquad (11.15)$$

где I_0 – ток в измерительной диагонали;

ΔR – изменение сопротивления датчика.

Линейность (или нелинейность) потенциальных мостовых измерительных схем характеризуется видом зависимости (11.16), получаемой из (11.16) при $\Delta R \neq 0$.

$$U_0 = f(\Delta R), \qquad (11.16)$$

где U_0 – напряжение на измерительной диагонали.

При анализе соотношений (11.15) и (11.14) обычно рассматривают несколько вариантов мостовых схем:

1) с одним датчиком ($\Delta R \neq 0$ в одном плече схемы);
2) с двумя датчиками ($\Delta R \neq 0$ в двух плечах схемы);
3) с тремя датчиками ($\Delta R \neq 0$ в трех плечах схемы);
4) с четырьмя датчиками ($\Delta R \neq 0$ в четырех плечах схемы).

Для анализа линейности неравновесных мостовых измерительных схем удобно принять следующие обозначения:

1) текущее сопротивление датчика в первом плече схемы $R_{g1} = R_1 + \Delta R_1$,
2) во втором плече $R_{g2} = R_2 + \Delta R_2$,
3) в третьем плече $R_{g3} = R_3 + \Delta R_3$,
4) в четвертом плече $R_{g4} = R_4 + \Delta R_4$,
5) где R_1, R_2, R_3, R_4 – начальные (исходные) сопротивления датчиков;
6) ΔR_1, ΔR_2, ΔR_3, ΔR_4 –изменение сопротивления соответствующих датчиков.

12. НЕРАВНОВЕСНЫЕ ТОКОВЫЕ МОСТОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ

12.1. Чувствительность токовых мостовых схем

12.1.1. Общие положения

Исследование чувствительности неравновесных токовых мостовых измерительных схем проводится при допущении, что используется один датчик, включенный в первое плечо мостовой схемы (рис. 12.1).

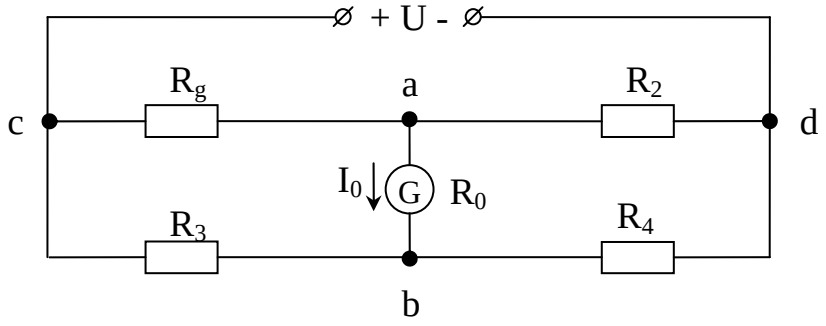


Рис. 12.1. Принципиальная схема неравновесного токового моста с одним датчиком

Для схемы, приведенной на рис. 12.1, ток в измерительной диагонали мостовой схемы I_0 имеет значение:

$$I_0 = U \frac{R_g R_4 - R_2 R_3}{R_0 (R_g + R_2)(R_3 + R_4) + R_g R_2 (R_3 + R_4) + R_3 R_4 (R_g + R_2)}, \qquad (12.1)$$

где U – напряжение питания;

R_0 – сопротивление прибора в измерительной диагонали мостовой схемы;

R_g – сопротивление датчика;

R_2, R_3, R_4 – сопротивление плеч моста.

Дальнейший анализ рассматриваемой мостовой схемы проводится при следующих допущениях:

1) сопротивление датчика R_g определяется соотношением

$$R_g = R_1 + \Delta R_1, \qquad (12.2)$$

где R_1 – начальное (исходное) сопротивление датчика;

ΔR_1 – изменение сопротивления датчика;

2) изменение сопротивления датчика много меньше сопротивления самого датчика, т. е.

$$\Delta R_1 << R_1, \tag{12.3}$$

где ΔR_1 и R_1 – определены выше;

3) в исходном состоянии мостовая схема уравновешена, т.е. справедливо равенство

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3, \tag{12.4}$$

где R_1, R_2, R_3 и R_4 – определены выше.

С учетом условий (12.2), (12.3) и (12.4) выражение (12.1) для тока I_0 в измерительной диагонали мостовой схемы принимает вид

$$I_0 = U \frac{\Delta R_1 \cdot R_4}{R_0(R_1 + \Delta R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_2(R_1 + \Delta R_1)(R_3 + R_4) + R_3 R_4(R_1 + \Delta R_1 + R_4)}, \tag{12.5}$$

где I_0, U, R_0, R_1, R_2, R_3, R_4, ΔR_1 – определены выше.

В зависимости от соотношения параметров различают следующие виды мостовых схем:

1) первой симметрии ($R_1 = R_2$; $R_3 = R_4$);

2) второй симметрии ($R_1 = R_3$; $R_2 = R_4$);

3) равноплечие ($R_1 = R_2 = R_3 = R_4$);

4) асимметричные ($R_1 \neq R_2$; $R_3 \neq R_4$).

Используя выражение (12.5), можно получить значения тока I_0 для каждого вида мостовых схем (для схем первой симметрии, второй симметрии, равноплечих и асимметричных).

Для схемы первой симметрии

$$I_0 = U \frac{\Delta R_1}{2R_0(2R_1 + \Delta R_1) + 2R_1(R_1 + \Delta R_1) + R_4(2R_1 + \Delta R_1)} \tag{12.6}$$

Для схемы второй симметрии

$$I_0 = U \frac{\Delta R_1}{R_0(R_1 + R_4 + \Delta R_1)(R_1 + R_4) + R_4(R_1 + \Delta R_1)(R_1 + R_4) + R_1 R_4(R_1 + R_{4+}\Delta R_1)}. \tag{12.7}$$

Для равноплечей схемы

$$I_0 = U\frac{\Delta R_1}{2R_0\left(2R_1+\Delta R_1\right)+2R_1\left(R_1+\Delta R_1\right)+R_1\left(2R_1+\Delta R_1\right)}. \qquad (12.8)$$

Для асимметричной схемы

$$I_0 = U\frac{\Delta R_1}{R_0\left(R_1+R_2+\Delta R_1\right)\left(R_3+R_4\right)+R_2\left(R_1+\Delta R_1\right)\left(R_3+R_4\right)+R_3R_4\left(R_1+R_{2+}\Delta R_1\right)}. \qquad (12.9)$$

Считая, что $R_1 >> \Delta R_1$ и пренебрегая в силу этого значением ΔR_1 в знаменателе соотношений (11.4), (11.5), (11.6), (11.7), получим следующие уравнения:

для схемы первой симметрии

$$I_0 = U\cdot\frac{\Delta R_1}{4R_0R_1+2R_1^2+2R_1R_4}; \qquad (12.10)$$

для схемы второй симметрии

$$I_0 = U\cdot\frac{\Delta R_1R_4}{R_0\left(R_1+R_4\right)^2+2R_1R_4\left(R_1+R_4\right)}; \qquad (12.11)$$

для равноплечей схемы

$$I_0 = U\cdot\frac{\Delta R_1}{4R_0R_1+4R_1^2}; \qquad (12.12)$$

для асимметричной схемы

$$I_0 = U\cdot\frac{\Delta R_1R_4}{R_0\left(R_1+R_2\right)+\left(R_3+R_4\right)+R_2R_1\left(R_3+R_4\right)+R_3R_4\left(R_1+R_2\right)}. \qquad (12.13)$$

где I_0, U, ΔR_1, R_0, R_1, R_2, R_3, R_4 – определены выше.

Полученные соотношения (12.10), (12.11), (12.12) и (12.13) позволяют проанализировать рассматриваемые мостовые измерительные схемы с точки зрения их чувствительности и линейности. Соответствующие исследования приведены ниже, в последующей главе учебного пособия.

12.1.2. Основные соотношения

В главе 11 (пп. 11.1 и 11.2) показано, что чувствительность токовых мостовых схем при использовании электромеханических приборов для измерения тока I_0 тем выше, чем большая мощность выделяется в измерительной диагонали моста. Отсюда следует, что для токовых мостовых схем необходимо рас-

сматривать чувствительность по мощности (см. выражения (11.8) и (11.11), приведенные в п. 11.2 учебного пособия).

Тогда для рассмотренных схем (первой и второй симметрий, равноплечей и асимметричной) правомерны нижеследующие соотношения.

Схемы первой симметрии

Мощность, выделяемая в измерительной диагонали мостовой схемы, определяется соотношением

$$P_0 = I_0^2 \cdot R_0, \tag{12.14}$$

где I_0 – ток в измерительной диагонали;

R_0 – внутреннее сопротивление прибора, включенного в измерительную диагональ.

Значение тока I_0 для схемы первой симметрии оценивается по выражению (12.10), приведенному выше. Для дальнейшего анализа выражение (12.10) удобно преобразовать, разделив числитель и знаменатель на R_1 и введя обозначение $\varepsilon = \frac{\Delta R_1}{R_1}$. Тогда выражение (12.10) примет вид

$$I_0 = U \frac{\varepsilon}{4R_0 + 2R_1 + 2R_4}, \tag{12.15}$$

где ε – относительное измерение сопротивления датчика.

Подставляя в (12.14) значение тока I_0, получим

$$P_0 = U^2 \varepsilon^2 \frac{R_0}{(4R_0 + 2R_1 + 2R_4)^2} \tag{12.16}$$

Как показано выше, чувствительность мостовой схемы по мощности $S(P_0)$ может быть оценена (при принятых допущениях) соотношением (12.17).

$$S(P_0) = \frac{P_0}{\Delta R_1}. \tag{12.17}$$

Таким образом, при ε = const чувствительность мостовой схемы прямо пропорциональна мощности, потребляемой в ее измерительной диагонали. Очевидно, что при ε = const $P_0 \rightarrow \max$ (см. (12.16), приведенное выше), если

$U \to \max$, а $R_4 \to 0$. Примем, что U =const и максимально возможно для рассматриваемой мостовой схемы, а $R_4 = 0$. Тогда выражение (12.16) принимает вид

$$P_0 = U^2 \varepsilon^2 \frac{R_0}{(4R_0 + 2R_1)^2}, \qquad (12.18)$$

где U = const, ε = const, R_1 = const.

Для оценки значения R_0 необходимо исследовать соотношение (12.18) на максимум. Для этого, как известно, надо найти производную $\frac{dP_0}{dR_0}$ и приравнять ее нулю.

$$\frac{dP_0}{dR_0} = U^2 \varepsilon^2 \frac{1 \cdot (4R_0 + 2R_1)^2 - R_0 \cdot 2 \cdot (4R_0 + 2R_1) \cdot 4}{(4R_0 + 2R_1)^2} = 0. \qquad (12.19)$$

Дробь равна нулю, если ноль – ее числитель. В числителе $U \neq 0$, $\varepsilon \neq 0$ (по условию). Приравниваем нулю оставшийся сомножитель числителя.

$$(4R_0 + 2R_1)^2 - 8R_0(4R_0 + 2R_1) = 0. \qquad (12.20)$$

$$(4R_0 + 2R_1)(4R_0 + 2R_1 - 8R_0) = 0. \qquad (12.21)$$

Если произведение двух сомножителей равно нулю, то ноль – один из сомножителей или равны нулю оба сомножителя.

Приравнивая к нулю первый сомножитель соотношения (12.21), получим $R_0 = -\frac{1}{2}R_1$ и, приравнивая к нулю второй сомножитель, получим $R_0 = \frac{1}{2}R_1$. Отрицательное значение сопротивления физического смысла не имеет, и отрицательный корень уравнения (12.21) отбрасывается.

Таким образом, при заданном исходном (начальном) сопротивлении датчика R, заданном и постоянном его абсолютном приращении ΔR (или заданном и постоянном относительном приращении ε) мостовая схема первой симметрии имеет максимальную чувствительность, если выполняются следующие условия:

$$U \to \max, R_2 = R_1, R_3 = R_4 \to 0, R_0 = \frac{1}{2}R_1.$$

Схемы второй симметрии

Мощность, выделяемая в измерительной диагонали мостовой схемы (независимо от вида симметрии), определяется соотношением (12.14), а ток в этой же диагонали для схемы второй симметрии – соотношением (12.11).

Для дальнейшего анализа выражение (12.11) удобно преобразовать, разделив числитель и знаменатель на $R_1 \cdot R_4$ и введя обозначение $\varepsilon = \frac{\Delta R_1}{R_1}$.

В этом случае выражение (12.11) принимает вид

$$I_0 = U \frac{\varepsilon}{\frac{R_0}{R_1 \cdot R_4} \cdot \left(R_1 + R_4\right)^2 + 2\left(R_1 + R_4\right)}, \qquad (12.22)$$

где ε – относительное изменение сопротивления датчика.

Преобразуем принципиальную электрическую схему четырехплечего измерительного моста, представленную на рис. 12.1, и представим ее в виде схемы, приведенной на рис. 12.2.

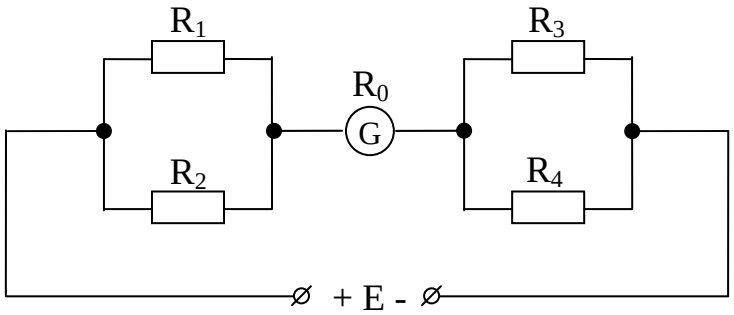


Рис. 12.2. Эквивалентная принципиальная схема четырехплечего моста постоянного тока

На схеме (см. рис. 12.2) величина E является некоторой эквивалентной ЭДС, зависящей от напряжения питания U и параметров мостовой схемы.

Рис. 12.2 позволяет заключить, что измеритель «G» питается через некоторое эквивалентное сопротивление $R_Э$, определяемое соотношением (12.3).

$$R_Э = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}. \qquad (12.23)$$

Учитывая, что для мостовой схемы второй симметрии $R_1 = R_3$ и $R_2 = R_4$, получим

$$R_Э{}' = 2 \cdot \frac{R_1 \cdot R_4}{R_1 + R_4}. \qquad (12.24)$$

Для оптимального согласования нагрузки с сопротивлением источника сигнала необходимо, как известно, чтобы сопротивление нагрузки равнялось сопротивлению источника сигнала. В нашем случае необходимо, чтобы внутреннее сопротивление R_0 прибора *G*, являющегося нагрузкой для мостовой схемы, равнялось сопротивлению $R'_э$, являющемуся сопротивлением эквивалентного источника питания с ЭДС (E).

$$R_0 = R'_Э = 2 \cdot \frac{R_1 \cdot R_4}{R_1 + R_4}. \qquad (12.25)$$

Подставляя найденное значение R_0 в (12.22), получим

$$I_0 = U \frac{\varepsilon}{4(R_1 + R_4)}. \qquad (12.26)$$

Подставляя найденное значение тока I_0 в (12.14), получим для мощности в измерительной диагонали:

$$P_0 = I_0^2 \cdot R_0 = U^2 \cdot \varepsilon^2 \cdot \frac{R_1 \cdot R_4}{8\left(R_1 + R_4\right)^3} = 0. \qquad (12.27)$$

Для оценки значения R_4 необходимо исследовать соотношение (12.27) на максимум. Для этого, как известно, надо найти первую производную $\frac{dP_0}{dR_0}$ и приравнять ее нулю.

$$\frac{dP_0}{dR_4} = U^2 \cdot \varepsilon^2 \cdot \frac{R_1 \cdot 8\left(R_1 + R_4\right)^3 - R_1 R_4 \cdot 24\left(R_1 + R_4\right)^2 \cdot 1}{64 \cdot \left(R_1 + R_4\right)^6} = 0. \qquad (12.28)$$

Решая уравнение (12.28) относительно R_4, получим

$$R_4 = \frac{2}{3} R_1. \qquad (12.29)$$

Подставляя найденное значение R_4 в (12.22), получим

$$R_0 = \frac{2}{3} R_1. \qquad (12.30)$$

Таким образом, при заданном начальном сопротивлении датчика R и принятых допущениях мостовая схема второй симметрии имеет максимальную чувствительность по мощности при $U \rightarrow \max$:

$$R_3 = R_1 R_4 = \frac{1}{2} R_1 R_0 = \frac{2}{3} R_1 .$$

Равноплечие мостовые схемы

Независимо от вида симметрии мощность P_0, выделяемая в измерительной диагонали мостовой схемы, определяется соотношением (12.14).

Ток I_0 в измерительной диагонали равноплечей мостовой схемы определяется соотношением (12.12).

Для дальнейшего анализа чувствительности рассматриваемой мостовой схемы по мощности удобно разделить числитель и знаменатель соотношения (12.12) на R_1 и ввести обозначение $\varepsilon = \frac{\Delta R_1}{R_1}$. В этом случае выражение для тока I_0 принимает вид

$$I_0 = U^2 \cdot \varepsilon^2 \cdot \frac{R_0}{\left(4R_0 + 4R_1\right)}. \qquad (12.31)$$

Подставляя в (12.12) полученное значение тока I_0 (см. выражение (12.31), и приведенное выше), получим

$$P_0 = U^2 \cdot \varepsilon^2 \cdot \frac{R_0}{\left(4R_0 + 4R_1\right)^2}. \qquad (12.32)$$

Для оценки значения R_0 необходимо исследовать на максимум полученное соотношение (12.32). Для этого найдем первую производную $\frac{dP_0}{dR_0}$ и приравняем ее нулю

$$\frac{dP_0}{dR_4} = U^2 \cdot \varepsilon^2 \cdot \frac{1\left(4R_0 + 4R_1\right)^2 - 2 \cdot \left(4R_0 + R_1\right) \cdot 4R_0}{\left(4R_0 + 4R_1\right)^4} = 0 . \qquad (12.33)$$

Решая уравнение (12.33) относительно R_0, получим

$$R_0 = R_1. \qquad (12.34)$$

Таким образом, при заданном сопротивлении датчика и принятых допущениях равноплечевая мостовая схема имеет максимальную чувствительность по мощности при $U \rightarrow \max$ и $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_0$.

Асимметричные мостовые схемы

Независимо от вида симметрии мощность в измерительной диагонали мостовой схемы определяется соотношением (12.14), а ток в этой диагонали для асимметричной схемы – соотношением (12.13).

Для анализа чувствительности асимметричной мостовой схемы по мощности преобразуем принципиальную электрическую схему моста (см. рис. 12.1) и представим ее в виде схемы, приведенной на рис. 12.3.

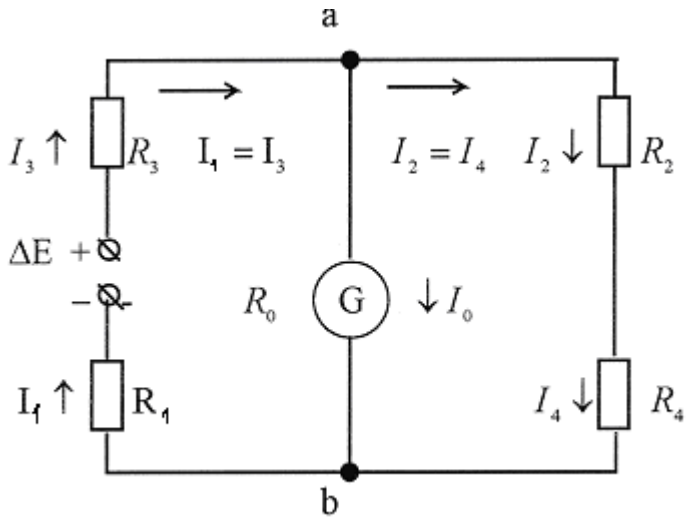


Рис. 12.3. Эквивалентная принципиальная схема четырехплечего моста постоянного тока: ΔE – эквивалентная ЭДС, зависящая от напряжения питания U и параметров мостовой схемы; R_1 – сопротивление датчика (начальное)

ΔE оценивается соотношением

$$\Delta E = \Delta R_1 \cdot I_1, \qquad (12.35)$$

где ΔR_1 – изменение сопротивления датчика;

I_1 – ток через датчик.

Отметим, что $I_1 = I_3$. По принятому условию $\Delta R_1 =$ const и много меньше сопротивления датчика в исходном (начальном) состоянии системы. Тогда справедливо положение, что $I_1 \cong$ const и $\Delta E \cong$ const.

При постоянстве значений ΔE и R_0 максимальное значение мощности в измерительной диагонали моста будет соответствовать максимальному значе-

нию тока I_0. Ток I_0 (при принятых допущениях) принимает максимальное значение при $R_0 \to 0$, а $(R_2 + R_4) \to \infty$. Считая, что $\Delta E = \text{const}$, R_1 = const, R_3 = 0, $(R_2 + R_4) \to \infty$, получим

$$I_0 = \frac{\Delta E}{R_1 + R_0}, \tag{12.36}$$

$$P_0 = I_0 \cdot R_0 = \Delta E^2 \cdot \frac{R_0}{(R_1 + R_0)^2}. \tag{12.37}$$

Для оценки значения R_0 необходимо исследовать на максимум полученное соотношение (12.37).

С этой целью найдем первую производную $\frac{dP_0}{dR_0}$ и приравняем ее нулю.

$$\frac{dP_0}{dR_0} = \Delta E^2 \cdot \frac{1 \cdot (R_1 + R_0) - 2 \cdot (R_1 + R_0) \cdot R_0}{(R_1 + R_0)^4} = 0. \tag{12.38}$$

Решая уравнение (12.38) относительно R_0, получим, что $R_0 = R$. Таким образом, при заданном сопротивлении датчика и принятых допущениях асимметричная мостовая схема имеет максимальную чувствительность по мощности при $U \to \max$, $R_2 + R_4 \to \infty$, $R_3 \to 0$, $R_0 = R_1$.

12.1.3. Выводы и рекомендации

Проведен анализ чувствительности неравновесных измерительных схем по мощности $S(P_0)$. Анализ проведен из предположений, что датчик с сопротивлением $R_g = R_1 + \Delta R_1$ включен в первое плечо моста, изменение сопротивления датчика $\Delta R_1 << R_1$, а мостовая схема в исходном (начальном) положении при $R_g = R_1$ уравновешена, где R_1 – исходное (начальное) сопротивление датчика.

Результаты анализа сведены в таблицу (табл. 12.1). В таблице приведены сведения по чувствительности токовых мостовых измерительных схем (асимметричных, 1-й симметрии, 2-й симметрии, равноплечих или симметричных). Вид рассматриваемой схемы приведен в 1-м столбце таблицы. Во 2-м столбце приведены характеристики мостовых схем, в 3-м – рассматриваемая чувствительность, в 4-м и 5-м – оптимальные соотношения.

Таблица 12.1

Сводная таблица по результатам анализа чувствительности неравновесных мостовых измерительных схем постоянного тока

Вид схемы	**Характеристика**	**Рассматриваемая чувствительность**	**Оптимальные соотношения**		$\left(\frac{P_0}{P_1}\right)_{\max}$
			теоретические	**практические**	
1	2	3	4	5	6
Асимметричная	$R_1 \neq R_2 \neq \neq R_3 \neq R_4$	$S(P_0)$	$R_2 + R_4 \to \infty,$ $R_3 \to 0,$ $R_0 \neq R_1$	$R_3 \approx 0{,}1R_1,$ $R_2 \approx 10R_1,$ $R_4 \approx R_1,$ $R_0 \approx R_1 + R_3$	$\frac{1}{4}\varepsilon^2$
1–й симметрии	$R_1 = R_2,$ $R_3 = R_4$	$S(P_0)$	$R_2 = R_1,$ $R_3 = R_4 \to 0,$ $R_0 \neq \frac{1}{2}R_1$	$R_1 = R_2,$ $R_3 = R_4 \approx 0{,}1R_1$ $R_0 \neq \frac{1}{2}(R_1 + R_4)$	$\frac{1}{8}\varepsilon^2$
Равноплечая	$R_1 = R_2 = = R_3 = R_4$	$S(P_0)$	$R_0 = R_2 = R_3 = = R_4 = R$	Совпадают с теоретическими	$\frac{1}{16}\varepsilon^2$
2–й симметрии	$R_2 = R_4$	$S(P_0)$	$R_2 = R_4 = \frac{1}{2}R_1,$ $R_3 = R_1,$ $R_0 = \frac{2}{3}R_1$	Совпадают с теоретическими	$\frac{1}{24}\varepsilon^2$

Табл. 12.1 содержит сведения по оптимальным параметрам различных типов неравновесных мостовых схем. Приведены как теоретические соотношения, так и практические рекомендации. Последний 6-й столбец таблицы, обозначенный $\left(\frac{P_0}{P_1}\right)_{\max}$, позволяет сравнить чувствительность различных типов неравновесных схем между собой. Из этого сравнения следует, что при прочих равных условиях наибольшей чувствительностью среди токовых схем облада-

ют асимметричные схемы, на втором месте по чувствительности – схемы 1-й симметрии, на третьем – равноплечие схемы и на последнем (четвертом) месте по чувствительности находятся мостовые схемы 2-й симметрии.

12.2. Линейность токовых мостовых схем

12.2.1. Общие положения

Линейность неравновесных токовых мостовых измерительных схем исследуется при допущении, что используются четыре датчика, включенные в первое, второе, третье и четвертое плечо мостовой схемы (рис. 12.4).

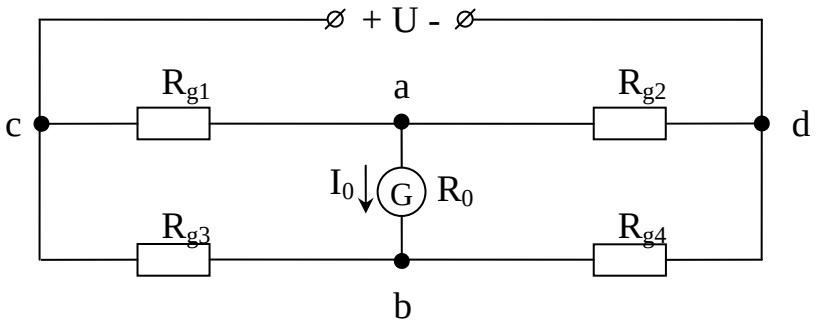


Рис. 12.4. Схема токового моста с четырьмя датчиками

Для схемы, приведенной на рис. 12.4, ток в измерительной диагонали мостовой схемы I_0 запишется в виде

$$I_0 = U\frac{R_{g1}\cdot R_{g4} - R_{g2}\cdot R_{g3}}{R_0\left(R_{g1}+R_{g2}\right)\left(R_{g3}+R_{g4}\right)+R_{g1}\cdot R_{g2}\left(R_{g3}+R_{g4}\right)+R_{g3}\cdot R_{g4}\left(R_{g1}+R_{g2}\right)}, \quad (12.39)$$

где U – напряжение питания;

R_0 – сопротивление прибора в измерительной диагонали мостовой схемы;

R_{g1}, R_{g2}, R_{g3}, R_{g4} – сопротивления датчиков.

Дальнейший анализ рассматриваемой мостовой схемы проводится при следующих допущениях:

1) сопротивления датчиков определяются соотношениями

$$R_{g1} = R_1 + \Delta R_1, \quad (12.40)$$

$$R_{g2} = R_2 + \Delta R_2, \quad (12.41)$$

$$R_{g3} = R_3 + \Delta R_3, \quad (12.42)$$

$$R_{g4} = R_4 + \Delta R_4, \quad (12.43)$$

где R_1, R_2, R_3 и R_4 – начальные (исходные) сопротивления датчиков;

ΔR_1, ΔR_2, ΔR_3 и ΔR_4 – измерения сопротивлений датчиков.

2) изменения сопротивлений датчиков много меньше сопротивлений самих датчиков, т. е.

$$\Delta R_1 << R_1, \tag{12.44}$$

$$\Delta R_2 << R_2, \tag{12.45}$$

$$\Delta R_3 << R_3, \tag{12.46}$$

$$\Delta R_4 << R_4, \tag{12.47}$$

где ΔR_1, ΔR_2, ΔR_3, ΔR_4, R_1, R_2, R_3 и R_4 – определены выше;

3) в исходном состоянии мостовая схема уравновешена, т. е.

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3, \tag{12.48}$$

где R_1, R_2, R_3 и R_4 – определены выше.

4) квадраты и кубы приращений датчиков малы и ими можно пренебречь, т. е. $\Delta R_1^2 \approx 0$, $\Delta R_1^3 \approx 0$, $\Delta R_2^2 \approx 0$, $\Delta R_2^3 \approx 0$ и т. д.

Принятые допущения позволяют значительно упростить соотношение (12.39), которое при подстановке значений сопротивлений датчиков и при выполнении принятых допущений принимает вид

$$I_0 = U \frac{\Delta R_1 \cdot R_4 - \Delta R_2 \cdot R_3 - \Delta R_3 \cdot R_2 + \Delta R_4 \cdot R_1}{A + B \cdot \Delta R_1 + C \cdot \Delta R_2 + D \cdot \Delta R_3 + F \cdot \Delta R_4}, \tag{12.49}$$

где $A = R_0\left(R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_4 + R_2 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_4\right) + R_1 \cdot R_2 \cdot \left(R_3 + R_4\right) +$

$+ R_3 \cdot R_4 \cdot \left(R_1 + R_2\right)$;

$B = R_0 \cdot R_3 + R_0 \cdot R_4 + R_3 \cdot R_4 + R_2 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_4$;

$C = R_0 \cdot R_3 + R_0 \cdot R_4 + R_3 \cdot R_4 + R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_4$;

$D = R_0 \cdot R_1 + R_0 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_4 + R_2 \cdot R_4$;

$F = R_0 \cdot R_1 + R_0 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3$.

Отметим, что R_1, R_2, R_3, R_4 – постоянные сопротивления, соответствующие исходным сопротивлениям датчиков; ΔR_1, ΔR_2, ΔR_3, ΔR_4 – приращения (положительные или отрицательные) сопротивлений датчиков; A, B, C,

D, F – постоянные коэффициенты, зависящие от значений исходных сопротивлений датчиков и не зависящие от их приращений.

12.2.2. Основные соотношения

Схемы с одним датчиком

Предполагается, что датчик с начальным (исходным) сопротивлением R_1 расположен в первом плече мостовой схемы. В трех других плечах мостовой схемы установлены постоянные сопротивления R_2, R_3 и R_4 (см. рис. 12.4). Приращения сопротивления датчика удовлетворяют условию $\Delta R_1 \neq 0$. Все другие приращения тождественно равны нулю. В этом случае выражение (12.49) принимает вид

$$I_0 = U \frac{\Delta R_1 \cdot R_4}{A + B \cdot \Delta R}. \qquad (12.50)$$

График зависимости $I_0 = f(\Delta R_1)$ приведен на рис. 12.5.

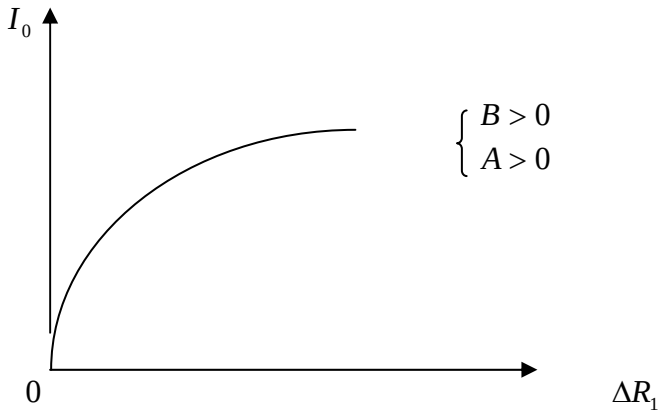


Рис. 12.5. Зависимость $I_0 = f(\Delta R_1)$ для неравновесной мостовой схемы с одним датчиком (датчик в первом плече)

Соотношение (12.50) и график свидетельствуют о том, что неравновесные мостовые измерительные схемы с одним датчиком, расположенным в первом плече, нелинейны. Этот вывод также справедлив при расположении одного датчика в любом другом плече неравновесной схемы. Последнее утверждение дается без доказательств, но оно может быть легко получено студентами самостоятельно при анализе соотношения (12.49).

Схемы с двумя датчиками

Датчики в первом и втором плечах моста

Предполагается, что датчики с начальными (исходными) сопротивлениями R_1 и R_2 расположены соответственно в первом и втором плечах мостовой схемы. В двух других плечах мостовой схемы установлены постоянные сопротивления R_3 и R_4. Приращения сопротивлений датчиков удовлетворяют условию $|\Delta R_1| = |-\Delta R_2| = |\Delta R|$. Приращения ΔR_3 и ΔR_4 тождественно равны нулю. С учетом допущений, изложенных в п. 12.2.1 и в данном параграфе учебного пособия, выражение (12.49) принимает вид

$$I_0 = U \cdot \frac{\Delta R \cdot (R_3 + R_4)}{A + (B - C) \cdot \Delta R}. \qquad (12.51)$$

График зависимости тока в измерительной диагонали мостовой схемы I_0 от приращения сопротивлений датчика ΔR при различных соотношениях между B и C приведен на рис. 12.6.

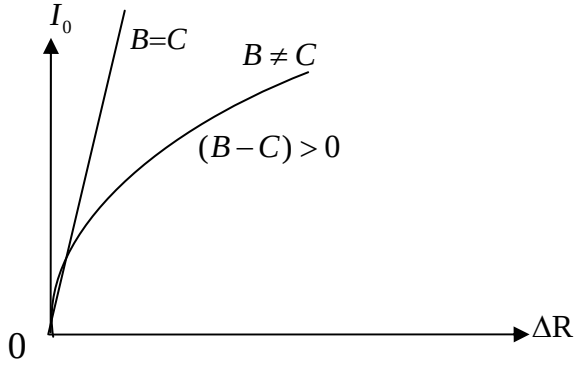


Рис. 12.6. Зависимость $I_0 = f(\Delta R)$ для неравновесной мостовой схемы с двумя датчиками (датчики в первом и втором плечах схемы)

Анализ зависимости $I_0 = f(\Delta R)$ позволяет сделать вывод о том, что в общем случае (при $B \neq C$) мостовая схема нелинейна. В частном же случае (при $B = C$) рассматриваемая мостовая схема линейна. Сравнение выражений для коэффициентов B и C, приведенных в п. 12.2.1, показывает, что $B = C$ при $R_1 = R_2$.

Таким образом, для линейности мостовой измерительной схемы с двумя датчиками, размещенными в первом и втором плечах схемы, необходимо выполнение двух условий:

1) сопротивления датчиков R_1 и R_2 в исходном состоянии должны быть равны;

2) приращения сопротивлений датчиков ΔR_1 и ΔR_2 должны быть равны между собой по абсолютной величине и противоположны по знаку.

Отметим, что положительные приращения сопротивлений датчиков соответствуют увеличению их сопротивлений, а отрицательные приращения соответствуют уменьшению сопротивлений датчиков. Для выполнения второго условия линейности необходимо, чтобы при увеличении сопротивления датчика в первом плече на ΔR_1 сопротивление датчика во втором плече уменьшилось бы на это же значение.

Датчики в первом и четвертом плечах моста

Предполагается, что датчики с начальными сопротивлениями R_1 и R_4 расположены соответственно в первом и четвертом плечах мостовой схемы. Во втором и третьем плечах мостовой схемы установлены постоянные сопротивления R_2 и R_3. Приращения сопротивлений датчиков удовлетворяют условию $|\Delta R_1| = |\Delta R_4| = |\Delta R|$. С учетом допущений, изложенных в п. 12.2.1 и данном параграфе, выражение (12.49) принимает вид

$$I_0 = U \frac{\Delta R \cdot (R_1 + R_4)}{A + (B + F) \cdot \Delta R}. \qquad (12.52)$$

График зависимости $I_0 = f(\Delta R)$ приведен на рис. 12.7.

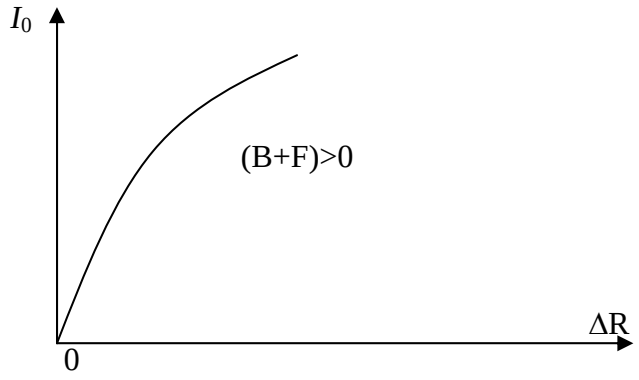


Рис. 12.7. Зависимость $I_0 = f(\Delta R)$ для неравновесной мостовой схемы с двумя датчиками (датчики в первом и четвертом плечах мостовой схемы)

Анализ зависимости $I_0 = f(\Delta R)$ позволяет сделать вывод, что мостовая измерительная схема с двумя датчиками в первом и четвертом плечах схемы нелинейна при любом соотношении параметров.

Датчики в первом и третьем плечах схемы

Предполагается, что датчики с начальными (исходными) сопротивлениями R_1 и R_3 расположены соответственно в первом и третьем плечах мостовой схемы. В двух других плечах мостовой схемы установлены постоянные сопротивления R_2 и R_4. Приращения сопротивлений датчиков удовлетворяют условию $|\Delta R_1| = |-\Delta R_3| = |\Delta R|$. Приращения сопротивлений ΔR_2 и ΔR_4 тождественно равны нулю. С учетом изложенных допущений выражение (12.49) принимает вид

$$I_0 = U \cdot \frac{\Delta R \cdot (R_2 + R_4)}{A + (B - D) \cdot \Delta R}. \qquad (12.53)$$

График зависимости $I_0 = f(\Delta R)$ приведен на рис. 12.8.

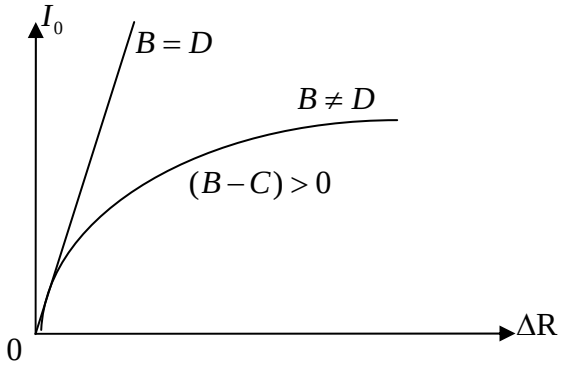


Рис. 12.8. Зависимость $I_0 = f(\Delta R)$ для неравновесной мостовой схемы с двумя датчиками (датчики в первом и третьем плечах мостовой схемы)

Анализ зависимости $I_0 = f(\Delta R)$ позволяет сделать вывод о том, что в общем случае (при $B \neq D$) мостовая схема нелинейна. В частном же случае (при $B = D$) рассматриваемая мостовая схема линейна. Для удовлетворения условия $B = D$ (см. п. 12.2.1) необходимо, чтобы $R_1 = R_3$, $R_2 = R_4$, $R_3 = R_4$, $R_1 = R_2$, т. е. сопротивления всех плеч мостовой схемы (в исходном положении при $\Delta R = 0$) должны быть равны между собой.

Таким образом, для линейности мостовой измерительной схемы с двумя датчиками, размещенными в первом и третьем плечах схемы, необходимо выполнение двух условий:

1) сопротивления плеч мостовой схемы R_1, R_2, R_3, R_4 при $\Delta R = 0$ должны быть равны между собой;

2) приращения сопротивлений датчиков ΔR_1 и ΔR_3 должны быть равны между собой и противоположны по знаку.

Отметим, что анализ проведен для случая, когда приращение ΔR_1 положительное, а приращение ΔR_3 – отрицательное.

Датчики во втором и четвертом плечах схемы

Предполагается, что датчики с начальными (исходными) сопротивлениями R_2 и R_4 расположены соответственно во втором и четвертом плечах мостовой схемы. В двух других плечах мостовой схемы установлены постоянные сопротивления R_1 и R_3 (см. рис. 12.4). Приращения сопротивлений датчиков R_2 и R_4 удовлетворяют условию $\left|-\Delta R_2\right| = \left|\Delta R_4\right| = \left|\Delta R\right|$. Приращения сопротивлений ΔR_1 и ΔR_3 тождественно равны нулю. С учетом изложенных допущений выражение (12.49) принимает вид

$$I_0 = U \frac{\Delta R \cdot (R_1 + R_4)}{A + (B + F) \cdot \Delta R} \qquad (12.54)$$

График зависимости $I_0 = f(\Delta R)$ приведен на рис. 12.9.

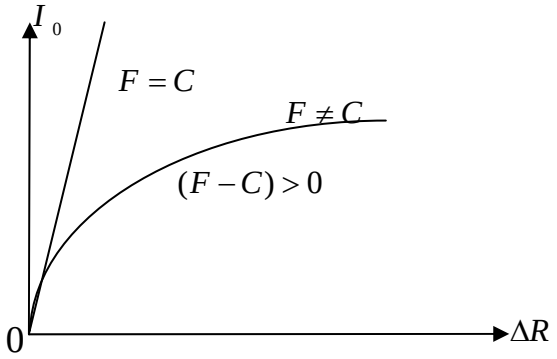


Рис. 12.9. Зависимость $I_0 = f(\Delta R)$ для неравновесной мостовой схемы с двумя датчиками (датчики во втором и четвертом плечах мостовой схемы)

Анализ зависимости $I_0 = f(\Delta R)$ позволяет сделать вывод о том, что в общем случае (при $F \neq C$) мостовая схема нелинейна. В частном же случае (при $F = C$) рассматриваемая мостовая схема линейна (см. рис. 12.9). Сравнение выражений F и C показывает, что $F = C$, если $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$, т. е. сопротивления всех плеч мостовой схемы (в исходном положении при $\Delta R = 0$) должны быть равны между собой.

Таким образом, для линейности мостовой измерительной схемы с двумя датчиками, размещенными во втором и четвертом плечах схемы, необходимо выполнение двух условий:

1) сопротивления плеч мостовой схемы R_1, R_2, R_3, R_4 при $\Delta R = 0$ должны быть равны между собой;

2) приращения сопротивлений датчиков ΔR_2 и ΔR_4 должны быть равны между собой и противоположны по знаку.

Датчики в третьем и четвертом плечах схемы

Предполагается, что датчики с начальными (исходными) сопротивлениями R_3 и R_4 расположены соответственно в третьем и четвертом плечах мостовой схемы. В двух других плечах мостовой схемы установлены постоянные сопротивления R_1 и R_2 (см. рис. 12.4). Приращения сопротивлений датчиков R_3 и R_4 удовлетворяют условию $|-\Delta R_3| = |\Delta R_4| = |\Delta R|$. Приращения сопротивлений ΔR_1 и ΔR_2 тождественно равны нулю. С учетом изложенных допущений выражение (12.49) принимает вид

$$I_0 = U \cdot \frac{\Delta R \cdot (R_2 + R_4)}{A + (B - D) \cdot \Delta R}. \qquad (12.55)$$

График зависимости $I_0 = f(\Delta R)$ приведен на рис. 12.10.

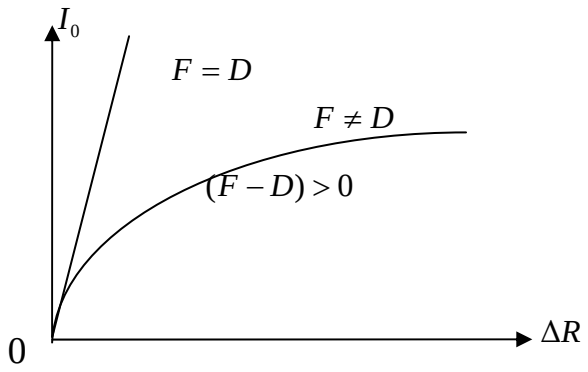


Рис. 12.10. Зависимость $I_0 = f(\Delta R)$ для неравновесной мостовой схемы с двумя датчиками (датчики в третьем и четвертом плечах мостовой схемы)

Анализ зависимости $I_0 = f(\Delta R)$ позволяет сделать вывод о том, что в общем случае (при $F \neq D$) мостовая схема нелинейна. В частном же случае (при $F = D$) рассматриваемая мостовая схема линейна. Сравнение выражений F и D показывает, что $F = D$, если $R_1 = R_2$, $R_3 = R_4$, т. е. для линейности схемы в рассматриваемом случае необходимо использовать мостовую схему 1-й симметрии.

Таким образом, для линейности мостовой измерительной схемы с двумя датчиками, размещенными в третьем и четвертом плечах схемы, необходимо выполнение двух условий:

1) сопротивления плеч мостовой схемы R_1, R_2, R_3, R_4 при $\Delta R = 0$ должны удовлетворять условию 1-й симметрии;

2) приращения сопротивлений датчиков ΔR_2 и ΔR_4 должны быть равны между собой и противоположны по знаку.

Датчики во втором и третьем плечах схемы

Предполагается, что датчики с начальными (исходными) сопротивлениями R_2 и R_3 расположены соответственно во втором и третьем плечах мостовой схемы. В двух других плечах мостовой схемы установлены постоянные сопротивления R_1 и R_4 (см. рис. 12.4). Приращения сопротивлений датчиков R_2 и R_3 удовлетворяют условию $|-\Delta R_2| = |-\Delta R_3| = |\Delta R|$. Приращения сопротивлений ΔR_1 и ΔR_4 тождественно равны нулю. С учетом изложенных допущений выражение (12.49) принимает вид

$$I_0 = U \cdot \frac{\Delta R \cdot \left(R_3 + R_2\right)}{A + \left(C + D\right) \cdot \Delta R}. \qquad (12.56)$$

График зависимости $I_0 = f\left(\Delta R\right)$ приведен на рис. 12.11.

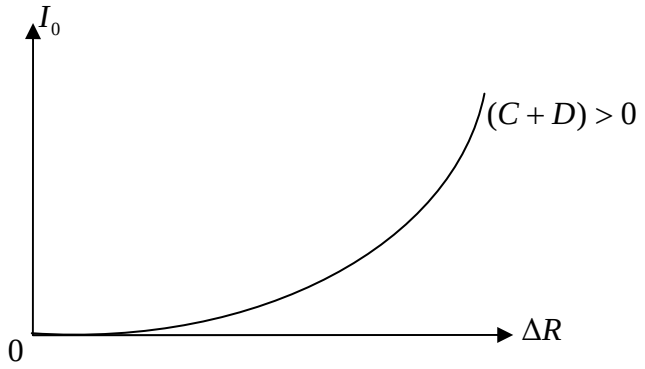


Рис. 12.11. Зависимость $I_0 = f\left(\Delta R\right)$ для неравновесной мостовой схемы с двумя датчиками (датчики во втором и третьем плечах мостовой схемы)

Анализ зависимости $I_0 = f\left(\Delta R\right)$ позволяет сделать вывод о том, что мостовая измерительная схема с двумя датчиками во втором и третьем плечах схемы нелинейна при любом соотношении параметров.

Схемы с тремя датчиками

Предполагается, что датчики с начальными (исходными) сопротивлениями R_1, R_2, R_3 расположены соответственно в первом, во втором и в третьем плечах мостовой схемы. В четвертом плече мостовой схемы установлено постоянное сопротивление R_4 (см. рис. 12.4). Приращения датчиков R_1, R_2, R_3 удовлетворяют условию $\left|\Delta R_1\right| = \left|-\Delta R_2\right| = \left|-\Delta R_3\right| = \left|\Delta R\right|$. Приращение сопротивления R_4 тождественно равно нулю (т.е. $\Delta R_4 = 0$). С учетом изложенных допущений выражение (12.49) принимает вид

$$I_0 = U \cdot \frac{\Delta R \cdot \left(R_3 + R_2 + R_4\right)}{A + \left(B - C - D\right) \cdot \Delta R}. \qquad (12.57)$$

График зависимости (12.57) приведен на рис. 12.12.

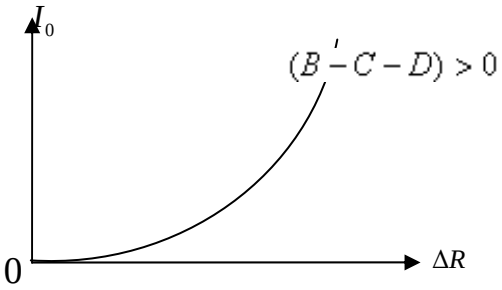


Рис. 12.12. Зависимость $I_0 = f(\Delta R)$ для неравновесной мостовой измерительной схемы с тремя датчиками (датчики в первом, втором и третьем плечах мостовой схемы)

Анализ зависимости $I_0 = f(\Delta R)$ позволяет сделать вывод о том, что мостовая измерительная схема с тремя датчиками в первом, втором и третьем плечах схемы нелинейна при любом соотношении параметров.

Схемы с четырьмя датчиками

При анализе схемы с четырьмя датчиками будем полагать, что датчики включены во все плечи мостовой измерительной схемы и имеют в исходном состоянии сопротивления R_1, R_2, R_3, R_4 (датчик с сопротивлением R_1 включен в первое плечо моста, R_2 – во второе, R_3 – в третье, R_4 – в четвертое). Приращения сопротивлений датчиков должны удовлетворять условию: $|\Delta R_1| = |-\Delta R_2| = |-\Delta R_3| = |\Delta R_4| = |\Delta R|$. С учетом принятых допущений выражение (12.49) принимает вид

$$I_0 = U \cdot \frac{\Delta R \cdot (R_1 + R_3 + R_2 + R_4)}{A + (B - C - D + F) \cdot \Delta R}.$$

График зависимости (12.58) для различных соотношений между *B*, *C*, *F*, *D* имеет вид, приведенный на рис. 12.13

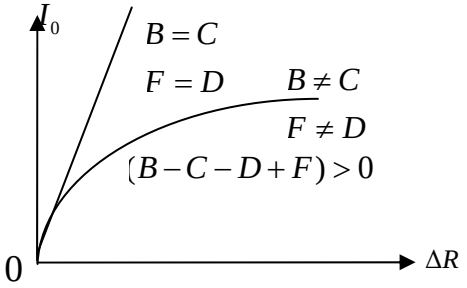


Рис. 12.13. Зависимость $I_0 = f(\Delta R)$ для неравновесной мостовой измерительной схемы с четырьмя датчиками (датчики во всех плечах мостовой схемы)

Нетрудно видеть, что в общем случае (при $B \neq C$ и $F \neq D$) неравновесная мостовая схема нелинейна. Равенства $F = D$ и $B = C$ возможны при $R_1 = R_2$ и $R_3 = R_4$, и в этом случае рассматриваемая схема линейна.

Таким образом, для линейности неравновесной мостовой измерительной схемы с четырьмя датчиками необходимо, чтобы сопротивления датчиков в первом и втором, третьем и четвертом плечах мостовой измерительной схемы были в исходном состоянии равны, а их приращения были равны и попарно разнозначны.

12.2.3. Выводы и рекомендации

Проведенные исследования линейности неравновесных токовых мостовых измерительных схем позволяют сделать вполне определенные выводы и дать практические рекомендации по включению датчиков в то или иное плечо мостовой схемы.

Ниже приводятся выводы и даются рекомендации при использовании одного, двух, трех и четырех датчиков.

1. Неравновесная токовая мостовая схема с одним датчиком нелинейна при любом включении датчика (в первое, второе, третье или четвертое плечо мостовой схемы). Схема с одним датчиком может быть рекомендована лишь при малых изменениях сопротивления датчика и при малых диапазонах измерений.

2. Мостовая схема с двумя датчиками может быть линейна, если датчики включены в первое и второе или третье и четвертое плечо мостовой схемы. При этом начальные (исходные) сопротивления датчиков должны быть равны, а их приращения равны и разнозначны (т. е. при росте сопротивления одного датчика сопротивление второго датчика должно на это же значение уменьшаться). При несоблюдении этих условий линейность мостовой схемы нарушается.

3. Мостовая схема с тремя датчиками нелинейна при любом их включении. Использовать схему с тремя датчиками не рекомендуется.

4. Мостовая схема с четырьмя датчиками может быть линейной при соблюдении ряда условий: используемые датчики должны иметь равные началь-

ные (исходные) сопротивления, а их приращения должны быть равными и попарно разнозначными, т. е. датчики в первом и четвертом плечах мостовой схемы должны иметь положительные приращения, а во втором и третьем – отрицательные. При несоблюдении этих условий линейность мостовой схемы нарушается.

13. НЕРАВНОВЕСНЫЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ МОСТОВЫЕ СХЕМЫ

13.1. Чувствительность потенциальных мостовых схем

13.1.1. Общие положения

Исследование чувствительности неравновесных потенциальных мостовых измерительных схем проводится при допущении, что используется один датчик, включенный в первое плечо мостовой схемы (рис. 13.1).

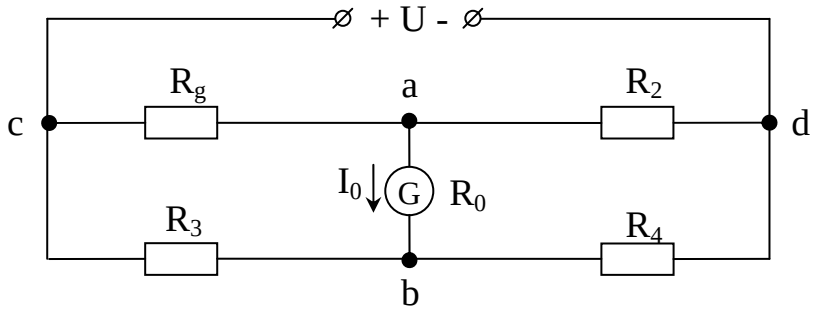


Рис. 13.1. Потенциальная мостовая измерительная схема с одним датчиком

В п. 11.1 учебного пособия было отмечено, что мостовая схема считается потенциальной, если сопротивление прибора *G*, включенного в измерительную диагональ моста, много больше сопротивлений плеч мостовой схемы. В этом же пункте сделан вывод основного соотношения потенциальной мостовой схемы (см. выражение (11.6)).

Для мостовой схемы, приведенной на рис. 13.1, выражение (11.6) принимает вид

$$U_0 = U\frac{R_g \cdot R_4 - R_2 \cdot R_3}{\left(R_g + R_2\right)\left(R_3 + R_4\right)}, \qquad (13.1)$$

где U_0 – напряжение на измерительной диагонали мостовой схемы;

U – напряжение питания;

R_g – сопротивление датчика;

R_2, R_3, R_4 – сопротивление плеч моста.

Дальнейший анализ рассматриваемой мостовой схемы проводится при следующих допущениях:

$$R_g = R_1 + \Delta R_1, \tag{13.2}$$

$$\Delta R_1 << R_1, \tag{13.3}$$

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3, \tag{13.4}$$

где R_1 – начальное (исходное) сопротивление датчика;

ΔR_1 – измерение сопротивления датчика;

R_g, R_2, R_3, R_4 – определены выше.

С учетом принятых допущений (13.2), (13.3) и (13.4) выражение (13.1) преобразуется в соотношение

$$U_0 = U \frac{\Delta R_1 \cdot R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}, \tag{13.5}$$

где $U_0, U, \Delta R_1, R_1, R_2, R_3, R_4$ – определены выше.

13.1.2. Основные соотношения

В п. 11.2 учебного пособия даны точное и приближенное определения чувствительности неравновесной потенциальной мостовой измерительной схемы. В данном пункте учебного пособия используется приближенное значение чувствительности по напряжению, приведенное ниже.

$$S(U_0) \approx \frac{\Delta U_0}{\Delta R_1}, \tag{13.6}$$

где $S(U_0)$ – чувствительность по напряжению;

ΔR_1 – изменение сопротивления датчика;

ΔU_0 – изменение напряжения в измерительной диагонали мостовой схемы при изменении сопротивления датчика на ΔR_1.

Дальнейший анализ проводится для оценки оптимальных параметров потенциальных мостовых измерительных схем, позволяющих получить максимальную чувствительность при заданных допущениях, т. е. при заданных условиях (13.2)–(13.4) и при заданном значении ΔR_1 можно найти значения U, R_2, R_3 и R_4, при которых чувствительность $S(U_0)$ максимальна. Из (13.6) следует,

что при ΔR_1 = const чувствительность максимальна при максимальном значении приращения ΔU_0, которое определяется соотношением

$$\Delta U_0 = U_0 - U_{0H}, \tag{13.7}$$

где U_{0H} – напряжение на измерительной диагонали в исходном состоянии мостовой схемы (при ΔR_1=0);

ΔU_0, U_0 – определены выше.

Поскольку в исходном состоянии рассматриваемая мостовая схема уравновешена, то U_{0H}=0 и $\Delta U_0 = U_0$ (см. выражение (13.7)).

Другими словами, для принятых допущений чувствительность $S(U_0) \to \max$, если напряжение U_0, определяемое соотношением (13.5), также стремится к максимальному значению.

Для дальнейшего анализа чувствительности рассматриваемой мостовой схемы по напряжению удобно разделить числитель и знаменатель выражения (13.5) на $R_1 \cdot R_4$ и ввести обозначение $\varepsilon = \dfrac{\Delta R_1}{R_1}$.

$$U_0 = U \frac{\varepsilon}{\left(1 + \dfrac{R_2}{R_1}\right) \cdot \left(1 + \dfrac{R_3}{R_4}\right)} \tag{13.8}$$

Обозначим отношение $\dfrac{R_2}{R_1}$ через K.

$$\frac{R_2}{R_1} = K. \tag{13.9}$$

Тогда, в силу равновесия моста в исходном состоянии, справедливы соотношения

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3, \tag{13.10}$$

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{1}{K}. \tag{13.11}$$

Подставляя (13.9) и (13.11) в уравнение (13.8), получим

$$U_0 = U\frac{\varepsilon \cdot K}{(1+K)^2}. \qquad (13.12)$$

Для оценки значения K необходимо исследовать полученное соотношение (13.12) на максимум. Для этого найдем первую производную $\frac{dU_0}{dK}$ и приравняем ее нулю.

$$\frac{dU_0}{dK} = U \cdot \varepsilon \cdot \frac{1\cdot(1+K)^2 - K\cdot 2\cdot(1+K)\cdot 1}{(1+K)^4} = 0. \qquad (13.13)$$

Произведение нескольких сомножителей равно нулю, если ноль – один из сомножителей. Соотношение (13.13) состоит из трех сомножителей. Первые два сомножителя (U и ε) не равны нулю, т. е. нулю равен третий сомножитель, представляющий собой дробь. Дробь, в свою очередь, равна нулю, если ноль – ее числитель. Приравнивая нулю числитель рассматриваемой дроби, получим

$$(1+K)^2 - 2K(1+K) = 0.$$

Полученное выражение, после приведения подобных, принимает вид

$$1 - K = 0.$$

Решая полученное уравнение относительно K, находим

$$K = 1. \qquad (13.14)$$

Из (13.14) следует, что $R_2 = R_1$ и $R_3 = R_4$.

Таким образом, при заданном сопротивлении датчика и принятых допущениях потенциальная мостовая измерительная схема имеет максимальную чувствительность по напряжению при $U \to \infty$, $R_2 = R_1$ и $R_3 = R_4$.

13.2. Линейность потенциальных мостовых схем

13.2.1. Общие положения

Исследование линейности неравновесных потенциальных мостовых измерительных схем проводится при допущении, что датчики включены во все четыре плеча мостовой схемы (рис. 13.2).

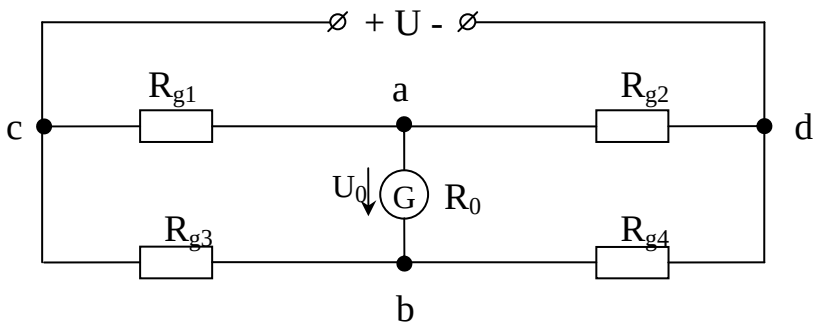


Рис. 13.2. Принципиальная схема неравновесного потенциального моста с четырьмя датчиками

Выведенное выше основное соотношение потенциальной мостовой схемы (11.6) для схемы, приведенной на рис. 13.2, принимает вид

$$U_0 = U \frac{R_{g1} \cdot R_{g4} - R_{g2} \cdot R_{g3}}{(R_{g1} + R_{g2})(R_{g3} + R_{g4})}, \qquad (13.15)$$

где U_0 – напряжение на измерительной диагонали мостовой схемы;

U – напряжение питания;

R_0 – сопротивление прибора G (принято, что $R_0 \to \infty$);

R_{g1}, R_{g2}, R_{g3}, R_{g4} – сопротивление датчиков.

Дальнейший анализ рассматриваемой мостовой схемы проводится при следующих допущениях:

$$R_{g1} = R_1 + \Delta R_1, \qquad (13.16)$$

$$R_{g2} = R_2 + \Delta R_2, \qquad (13.17)$$

$$R_{g3} = R_3 + \Delta R_3, \qquad (13.18)$$

$$R_{g4} = R_4 + \Delta R_4, \qquad (13.19)$$

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3, \qquad (13.20)$$

где R_1, R_2, R_3, R_4 – начальные сопротивления датчиков;

$\Delta R_1, \Delta R_2$, ΔR_3, ΔR_4 – приращения сопротивлений датчиков.

Изменения сопротивлений датчиков ΔR_1, ΔR_2, ΔR_3, ΔR_4 много меньше сопротивлений самих датчиков, т. е.

$$\Delta R_1 << R_1, \qquad (13.21)$$

$$\Delta R_2 << R_2, \qquad (13.22)$$

$$\Delta R_3 << R_3, \tag{13.23}$$

$$\Delta R_4 << R_4, \tag{13.24}$$

где $\Delta R_1, \Delta R_2, \Delta R_3, \Delta R_4$ – определены выше.

Квадраты и кубы приращений датчиков малы и ими можно пренебречь, т. е. $\Delta R_1^2 \approx 0$, $\Delta R_1^3 \approx 0$, $\Delta R_2^2 \approx 0$, $\Delta R_2^3 \approx 0$ и т. д.

С учетом принятых допущений (13.16) – (13.24) и равенства нулю квадратов и кубов приращений датчиков выражение (13.15) принимает вид

$$U_0 = U \frac{\Delta R_1 \cdot R_4 + \Delta R_2 \cdot R_3 + \Delta R_3 \cdot R_2 + \Delta R_4 \cdot R_1}{A + \Delta R_1 \cdot B + \Delta R_2 \cdot C + \Delta R_3 \cdot D + \Delta R_4 \cdot F}, \tag{13.25}$$

где U, U_0, R_1, R_2, R_3, R_4, $\Delta R_1, \Delta R_2$, ΔR_3, ΔR_4 определены выше;

$A = R_1 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_4 + R_2 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_4$;

$B = C = R_3 + R_4$;

$D = F = R_3 + R_2$.

Полученное выражение (13.25) позволяет проанализировать линейность неравновесных потенциальных мостовых схем.

13.2.2. Основные соотношения

Полученное в п. 13.2.1 выражение (13.25) позволяет проанализировать линейность неравновесных потенциальных мостовых измерительных схем (см. рис. 13.2) при использовании одного, двух, трех и четырех датчиков.

Схемы с одним датчиком

При анализе мостовой схемы с одним датчиком предполагается, что датчик с начальным (исходным) сопротивлением R_1 расположен в первом плече мостовой схемы. В трех других плечах мостовой схемы установлены постоянные сопротивления R_2, R_3, R_4. Приращение сопротивления датчика $\Delta R_1 \neq 0$. Все другие приращения (ΔR_2, ΔR_3, ΔR_4) тождественно равны нулю. В этом случае выражение (13.25) принимает вид

$$U_0 = U \frac{\Delta R_1 \cdot R_4}{A + \Delta R_1 \cdot B}, \tag{13.26}$$

где U_0, U, A, B, ΔR_1, R_4 – определены выше.

График зависимости $U_0 = f(\Delta R_1)$ приведен на рис. 13.3.

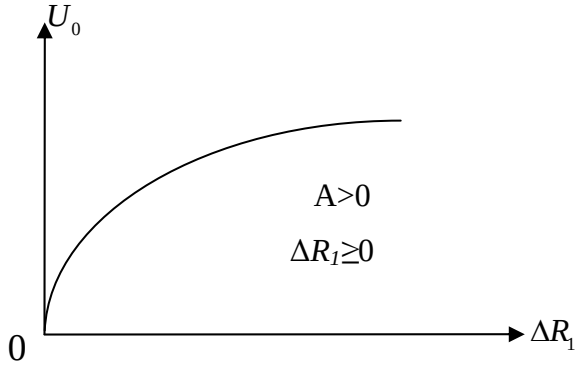


Рис. 13.3. Зависимость $U_0 = f(\Delta R_1)$ для потенциальной мостовой измерительной схемы с одним датчиком (датчик в первом плече схемы)

Соотношение (13.26) и график, приведенный на рис. 13.3, свидетельствуют о том, что неравновесная потенциальная мостовая измерительная схема с одним датчиком, расположенным в первом плече схемы, нелинейна. Этот вывод также справедлив при расположении одного датчика в любом другом плече схемы. Последнее утверждение дается без доказательств, но оно может быть легко получено студентами самостоятельно при анализе соотношения (13.25).

Схемы с двумя датчиками

Датчики в первом и втором плечах схемы

При анализе схемы с двумя датчиками принимаются следующие допущения (см. рис. 13.2): начальные (исходные) сопротивления датчиков R_1 и R_2; в исходном положении мостовая схема уравновешена (т. е. $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$); приращения сопротивлений датчиков удовлетворяют условию $|\Delta R_1| = |-\Delta R_2| = |\Delta R|$; приращения ΔR_3 и ΔR_4 тождественно равны нулю. С учетом изложенных допущений выражение (13.25) принимает вид

$$U_0 = U \frac{\Delta R \cdot (R_3 + R_4)}{A} \qquad (13.27)$$

где A – постоянный коэффициент (определен выше).

График зависимости $U_0 = f(\Delta R)$ приведен на рис. 13.4.

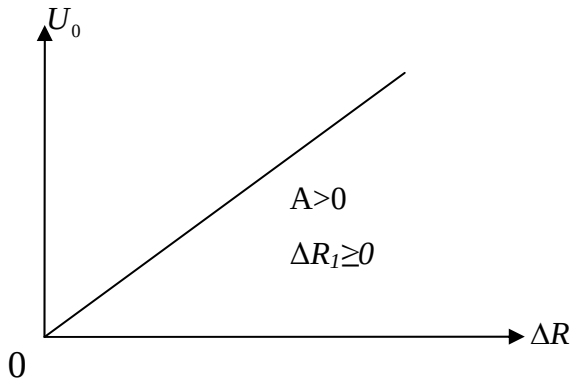


Рис. 13.4. Зависимость $U_0 = f(\Delta R)$ для потенциальной мостовой измерительной схемы с двумя датчиками (датчики в первом и втором плечах схемы)

Соотношение (13.27) и график, приведенный на рис. 13.4, свидетельствуют о том, что неравновесные потенциальные мостовые измерительные схемы с двумя датчиками (в первом и втором плечах) линейны, если выполняется условие $|\Delta R_1| = |-\Delta R_2| = |\Delta R|$.

Таким образом, для линейности неравновесной потенциальной мостовой измерительной схемы с двумя датчиками, размещенными в первом и втором плечах схемы, необходимо, чтобы приращения сопротивлений датчиков ΔR_1 и ΔR_2 были равны между собой по модулю и противоположны по знаку.

Отметим, что положительные приращения сопротивлений датчиков соответствуют увеличению их сопротивлений, а отрицательные приращения соответствуют уменьшению сопротивлений датчиков. Для выполнения условия линейности схемы необходимо, чтобы при увеличении сопротивления датчика в первом плече на ΔR сопротивление датчика во втором плече уменьшалось бы на эту же величину.

Датчики в первом и третьем плечах схемы

При анализе схемы в этом случае предполагается, что датчики с начальными (исходными) сопротивлениями R_1 и R_3 расположены в первом и третьем плечах мостовой схемы. В двух других плечах мостовой схемы установлены постоянные сопротивления R_2 и R_4 (см. рис. 13.2). Приращения сопротивлений датчиков удовлетворяют условию $|\Delta R_1| = |-\Delta R_3| = |\Delta R|$. Приращения ΔR_2 и ΔR_4 тождественно равны нулю. Мостовая схема в исходном состоянии уравновеше-

на (т. е. $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$). С учетом изложенных допущений выражение (13.25) принимает вид

$$U_0 = U \frac{\Delta R \cdot \left(R_2 + R_4\right)}{A + \Delta R \cdot \left(B - D\right)}, \qquad (13.28)$$

где *A*, *B*, *D* – постоянные коэффициенты (определены выше).

Выражение (13.28) получено из предположения, что приращения сопротивлений датчиков равны и разнозначны. Очевидно, что это предположение может быть выполнено, если использованы одинаковые датчики с равными начальными сопротивлениями. Кроме того, для обеспечения равновесия мостовой схемы необходимо, чтобы были равны сопротивления, установленные во втором и четвертом плечах схемы. Таким образом, должны быть правомерны следующие равенства:

$$R_1 = R_3, \qquad (13.29)$$

$$R_2 = R_4. \qquad (13.30)$$

С учетом (13.29) и (13.30) выражение (13.28) принимает вид

$$U_0 = U \frac{\Delta R \cdot \left(R_2 + R_4\right)}{A - \Delta R}. \qquad (13.31)$$

Учитывая, что $A >> \Delta R^2$, окончательно получим

$$U_0 = U \frac{\Delta R \cdot \left(R_2 + R_4\right)}{A} \qquad (13.32)$$

График зависимости $U_0 = f\left(\Delta R\right)$ приведен на рис. 13.5.

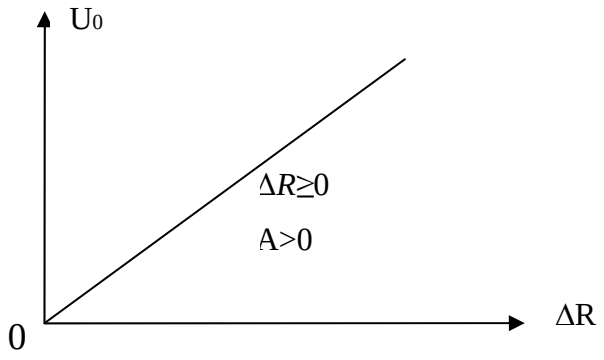


Рис. 13.5. Зависимость $U = f(\Delta R)$ для неравновесной потенциальной мостовой измерительной схемы с двумя датчиками (датчики в первом и третьем плечах схемы)

Соотношение (13.31) и график, приведенный на рис. 13.5, свидетельствуют о том, что неравновесные потенциальные мостовые измерительные схемы с двумя датчиками (в первом и третьем плечах) при выполнении принятых допущений линейны.

Датчики в первом и четвертом плечах схемы

При анализе схемы в этом случае предполагается, что датчики с начальными (исходными) сопротивлениями R_1 и R_4 расположены в первом и четвертом плечах мостовой схемы (см. рис. 13.2). В двух других плечах схемы установлены постоянные сопротивления R_2 и R_3 (приращения ΔR_2 и ΔR_3 соответственно равны нулю). Приращения сопротивлений датчиков удовлетворяют условию: $|\Delta R_1| = |\Delta R_4| = |\Delta R|$. Предполагается также, что в исходном состоянии мостовая схема уравновешена (т. е. $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$). С учетом изложенных допущений выражение (13.25) принимает вид

$$U_0 = U \frac{\Delta R \cdot (R_1 + R_4)}{A + \Delta R \cdot (B + F)}$$

где A, B, F – постоянные величины.

График зависимости $U_0 = f(\Delta R)$ приведен на рис. 13.6.

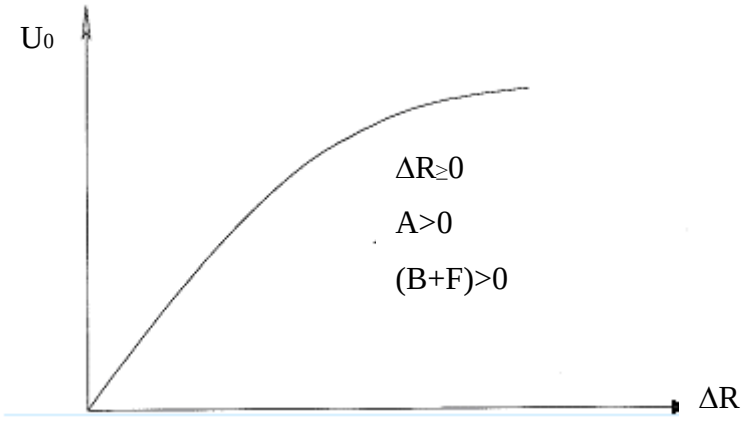


Рис. 13.6. Зависимость $U_0 = f(\Delta R)$ для неравновесной потенциальной мостовой измерительной схемы с двумя датчиками (датчики в первом и четвертом плечах схемы)

Соотношение (13.33) и график, приведенный на рис. 13.6, свидетельствуют о том, что неравновесные потенциальные мостовые измерительные схемы с датчиками в первом и четвертом плечах нелинейны.

Датчики во втором и третьем плечах схемы

При анализе схемы в этом случае предполагается, что датчики с начальными (исходными) сопротивлениями R_2 и R_3 расположены во втором и третьем плечах схемы (см. рис. 13.2). Приращения сопротивлений датчиков удовлетворяют условию: $|-\Delta R_2| = |-\Delta R_3| = |\Delta R|$. В двух других плечах схемы установлены постоянные сопротивления R_1 и R_4, и их приращения соответственно равны нулю. Предполагается также, что в исходном состоянии мостовая схема уравновешена (т. е. $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$). С учетом изложенных допущений выражение (13.25) принимает вид

$$U_0 = U \frac{\Delta R \cdot (R_2 + R_3)}{A - \Delta R \cdot (B + D)}, \qquad (13.34)$$

где A, B, D – постоянные коэффициенты.

График зависимости $U_0 = f(\Delta R)$ приведен на рис. 13.7.

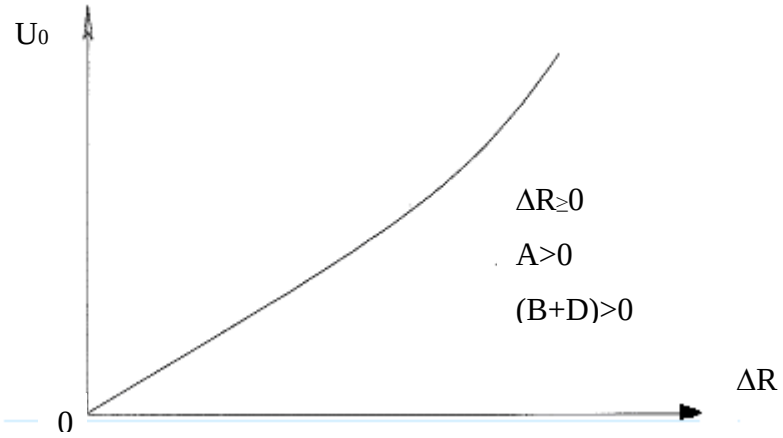


Рис. 13.7. Зависимость $U_0 = f(\Delta R)$ для неравновесной потенциальной мостовой измерительной схемы с двумя датчиками (датчики во втором и третьем плечах схемы)

Соотношение (13.34) и график, приведенный на рис. 13.7, свидетельствуют о том, что неравновесные потенциальные мостовые измерительные схемы с датчиками во втором и третьем плечах нелинейны.

Датчики во втором и четвертом плечах схемы

При анализе схемы в этом случае предполагается, что датчики с начальными (исходными) сопротивлениями R_1 и R_4 расположены во втором и четвертом плечах схемы (см. рис. 13.2). Приращения сопротивлений датчиков удовлетворяют условию $|-\Delta R_2| = |\Delta R_4| = |\Delta R|$. В двух других плечах схемы установлены постоянные сопротивления R_2 и R_4, и их приращения соответственно равны нулю. Предполагается также, что в исходном состоянии мостовая схема уравновешена (т. е. $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$). С учетом изложенных допущений выражение (13.25) принимает вид

$$U_0 = U \frac{\Delta R \cdot (R_1 + R_3)}{A + \Delta R \cdot (F - B)}, \qquad (13.35)$$

где A, B, F – постоянные коэффициенты.

Принимая, что $R_1 = R_4$, $R_2 = R_3$ окончательно получим

$$U_0 = U \frac{\Delta R \cdot (R_2 + R_4)}{A} \qquad (13.36)$$

График зависимости $U_0 = f(\Delta R)$ приведен на рис. 13.8.

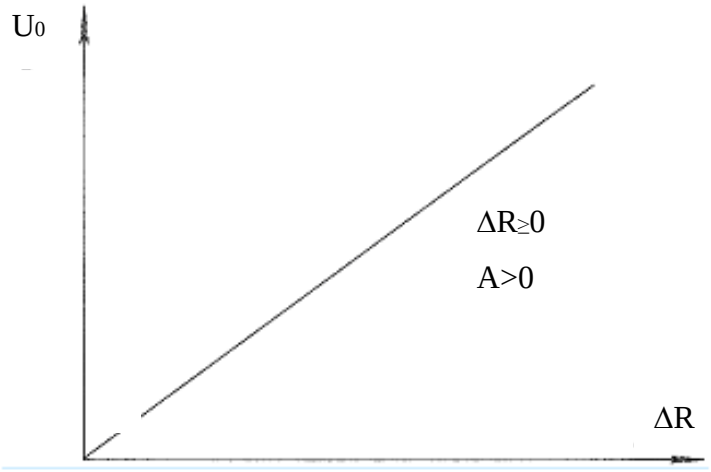


Рис. 13.8. Зависимость $U_0 = f(\Delta R)$ для неравновесной потенциальной мостовой измерительной схемы с двумя датчиками (датчики во втором и четвертом плечах схемы)

Соотношение (13.36) и график, приведенный на рис. 13.8, свидетельствуют о том, что неравновесные потенциальные мостовые измерительные схемы с

датчиками во втором и четвертом плечах при выполнении принятых допущений линейны.

Датчики в третьем и четвертом плечах схемы

При анализе схемы в этом случае предполагается, что датчики с начальными (исходными) сопротивлениями R_3 и R_4 расположены в третьем и четвертом плечах схемы (см. рис. 13.2). Приращения сопротивлений датчиков удовлетворяют условию $|-\Delta R_3| = |\Delta R_4| = |\Delta R|$. В двух других плечах схемы установлены постоянные сопротивления, и их приращения соответственно равны нулю. Предполагается также, что в исходном положении мостовая схема уравновешена и выполняется условие $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$. С учетом принятых допущений выражение (13.25) принимает вид

$$U_0 = U \frac{\Delta R \cdot (R_1 + R_2)}{A} \qquad (13.37)$$

где A – постоянный коэффициент.

График зависимости $U_0 = f(\Delta R)$ приведен на рис. 13.9.

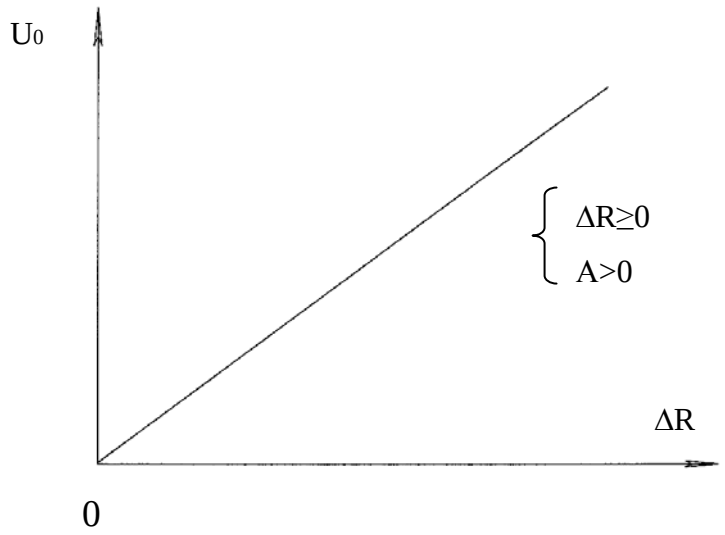


Рис. 13.9. Зависимость $U_0 = f(\Delta R)$ для неравновесной потенциальной мостовой измерительной схемы с двумя датчиками (датчики в третьем и четвертом плечах схемы)

Соотношение (13.37) и график, приведенный на рис. 13.9, свидетельствуют о том, что неравновесные потенциальные мостовые измерительные схемы с датчиками в третьем и четвертом плечах схемы при выполнении принятых допущений линейны.

Схемы с тремя датчиками

Датчики в первом, втором и третьем плечах схемы

При анализе схемы в этом случае предполагается, что датчики с начальными (исходными) сопротивлениями R_1, R_2, R_3 расположены в первом, втором и третьем плечах схемы (см. рис. 13.2). Приращения сопротивлений датчиков удовлетворяют условию $|\Delta R_1| = |-\Delta R_2| = |-\Delta R_3| = |\Delta R|$. В четвертом плече схемы установлено постоянное сопротивление R_4. Предполагается также, что в исходном положении мостовая схема уравновешена и соответственно выполняется условие $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$. С учетом принятых допущений, выражение (13.25) принимает вид

$$U_0 = U \cdot \frac{\Delta R \cdot (R_2 + R_3 + R_4)}{A - \Delta R \cdot (C + D - B)}, \qquad (13.38)$$

где A, C, D – постоянные коэффициенты.

График зависимости $U_0 = f(\Delta R)$ приведен на рис. 13.10.

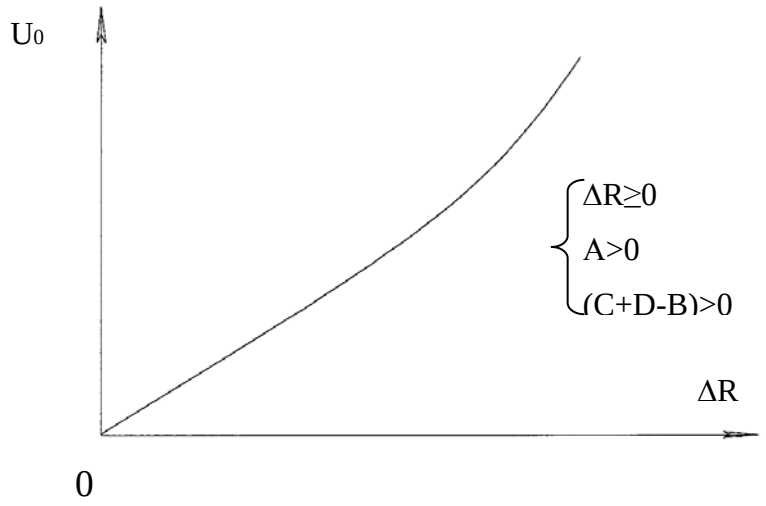


Рис. 13.10. Зависимость $U_0 = f(\Delta R)$ для неравновесной потенциальной мостовой измерительной схемы с тремя датчиками (датчики в первом, втором и третьем плечах схемы)

Соотношение (13.38) и график, приведенный на рис. 13.10, свидетельствуют о том, что неравновесные потенциальные мостовые измерительные схемы с датчиками в первом, втором и третьем плечах схемы нелинейны. Нелинейность схемы сохраняется при размещении трех датчиков в любых других плечах мостовых измерительных схем.

Схемы с четырьмя датчиками

При анализе схемы в этом случае предполагается, что датчики с начальными (исходными) сопротивлениями R_1, R_2, R_3, R_4 размещены в первом, втором, третьем и четвертом плечах схемы (см. рис. 13.2). Приращения сопротивлений датчиков должны удовлетворять условию $|\Delta R_1| = |-\Delta R_2| = |-\Delta R_3| = |\Delta R_4| = |\Delta R|$. Предполагается также, что в исходном положении мостовая схема уравновешена и соответственно выполняется условие $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$. С учетом принятых допущений выражение (13.25) принимает вид

$$U_0 = U \cdot \frac{\Delta R \cdot (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)}{A} \qquad (13.39)$$

где A – постоянный коэффициент.

График зависимости $U_0 = f(\Delta R)$ приведен на рис. 13.11.

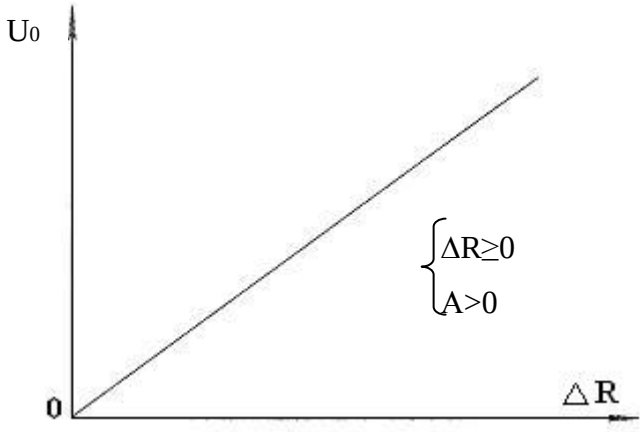


Рис. 13.11. Зависимость $U_0 = f(\Delta R)$ для неравновесной потенциальной мостовой измерительной схемы с четырьмя датчиками

Соотношение (13.39) и график, приведенный на рис. 13.11, свидетельствуют о том, что неравновесные потенциальные мостовые измерительные схемы с четырьмя датчиками (во всех плечах измерительной схемы) при выполнении принятых допущений линейны.

13.2.3. Выводы и рекомендации

Анализ линейности мостовых измерительных схем (как токовых, так и потенциальных) свидетельствует о том, что при нечетном числе датчиков схе-

мы нелинейны, а при четном (два или четыре датчика) могут быть линейны при выполнении ряда условий. Эти условия сводятся к следующему: мостовые схемы должны быть симметричными, исходные (начальные) сопротивления датчиков должны быть одинаковы, а их приращения равными и попарно разнозначными. Подробно условия линейности неравновесных мостовых измерительных схем приведены в пп. 13.2.1 и 13.2.2 настоящего учебного пособия.

Рассмотрим, насколько реализуемы условия линейности неравновесных мостовых измерительных схем, приведенные выше. Оценим возможность практического выполнения этих условий при построении измерительных устройств различного назначения.

Предположим, что требуется включить в мостовую измерительную схему четыре тензодатчика, наклеенных на балку (рис. 13.12).

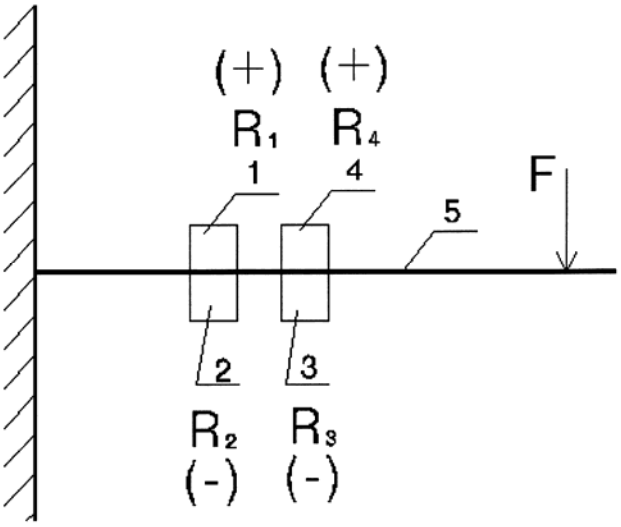


Рис. 13.12. Схема размещения тензодатчиков:
1, 2, 3, 4 – тензодатчики; 5 – балка; R_1, R_2, R_3, R_4 – сопротивления тензодатчиков; F – сила, изгибающая балку

Два тензодатчика наклеены сверху и при деформации балки имеют положительные приращения сопротивлений, а два других тензодатчика наклеены снизу и при деформации балки имеют отрицательные приращения сопротивлений.

Другими словами, при деформации балки 5 силой F сопротивления R_1 и R_4 будут возрастать, сопротивления R_3, R_4 – уменьшаться.

Для реализации условия линейности необходимо, чтобы сопротивления тензодатчиков в исходном состоянии (до деформации) были попарно равны ($R_1 = R_2$ и $R_3 = R_4$), а их приращения были попарно равны и разнозначны ($|\Delta R_1| = |-\Delta R_2|$, $|\Delta R_4| = |-\Delta R_3|$). Очевидно, что эти условия практически вполне выполнимы. Для этого необходимо использовать однотипные тензодатчики с одинаковыми характеристиками. При этом первый тензодатчик с сопротивлением R_1 необходимо включить в первое плечо, второй с сопротивлением R_2 – во второе плечо, третий – в третье и четвертый – в четвертое плечо неравновесной мостовой измерительной схемы, соединив их так, как это показано на рис. 13.2. В этом случае мостовая схема при принятых допущениях будет иметь линейную характеристику.

14. РАВНОВЕСНЫЕ МОСТОВЫЕ СХЕМЫ

14.1. Общие положения

В данной главе учебного пособия проведен анализ равновесных мостовых измерительных схем постоянного тока. Рассмотрены различные варианты включения датчиков в равновесные мостовые схемы, примеры расчета схем, а также сделаны выводы по результатам исследований и даны рекомендации по практическому использованию рассматриваемых устройств.

Принципиальная электрическая схема равновесной мостовой схемы приведена на рис. 14.1.

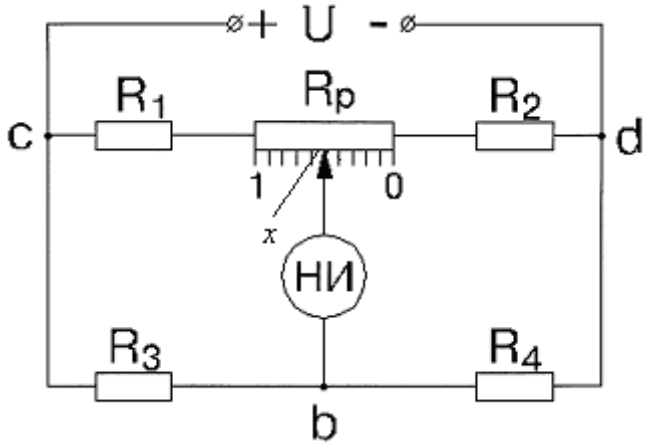


Рис. 14.1. Принципиальная электрическая схема равновесной мостовой измерительной схемы постоянного тока: $R_{\text{Р}}$ – сопротивление реохорда; x – координаты движка реохорда; НИ – нуль-индикатор; R_1, R_2, R_3, R_4 – электрические сопротивления; U – напряжение питания

Ниже рассматриваются четыре возможных варианта включения датчиков: датчик в первом плече; датчик во втором плече; датчик в третьем плече; датчик в четвертом плече мостовой схемы. Для каждого случая проведен анализ чувствительности и линейности мостовой схемы, сделаны соответствующие выводы.

14.2. Датчик в первом плече

Предполагается, что датчик с начальным (исходным) сопротивлением $R_{\text{Н}}$ включен в первое плечо равновесной мостовой измерительной схемы постоянного тока (см. рис. 14.1). Предполагая, что приращение сопротивления датчика

составляет ΔR_1, координата $x = 0$ при положении движка реохорда в крайнем правом положении и координата $x = 1$ при положении движка реохорда в крайнем левом положении, запишем условие равновесия для рассматриваемой схемы.

$$\left(R_H + \Delta R_1 + R_p - R_p \cdot x\right) \cdot R_4 = \left(R_2 + R_p \cdot x\right) \cdot R_3 . \qquad (14.1)$$

Раскрыв скобки в уравнении (14.1), сделав приведение подобных (по принятому допущению $R_H \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$) и решив рассматриваемое уравнение относительно x, получим:

$$x = \frac{R_4}{R_3 + R_4} + \Delta R_1 \cdot \frac{1}{R_p} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} . \qquad (14.2)$$

Введем обозначение:

$$\frac{R_4}{R_3 + R_4} = A . \qquad (14.3)$$

С учетом (14.3) выражение (14.2) принимает вид

$$x = A + \Delta R_1 \cdot A \cdot \frac{1}{R_p} = A\left(1 + \Delta R_1 \cdot \frac{1}{R_p}\right). \qquad (14.4)$$

График полученной зависимости приведен на рис. 14.2.

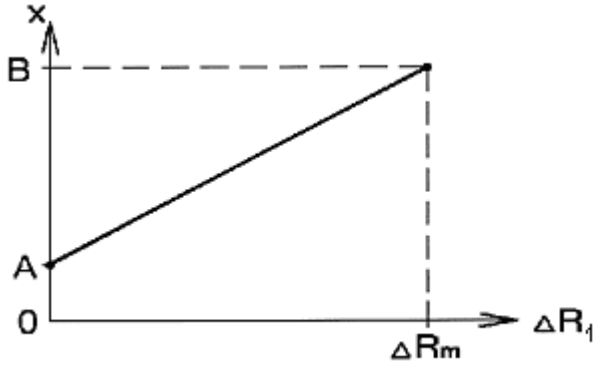


Рис. 14.2. Зависимость $x = f\left(\Delta R_1\right)$ для равновесной мостовой измерительной схемы с датчиком в первом плече

Отметим, что при ΔR_1=0 координата $x = A$, а при $\Delta R_1 = \Delta R_m$ (где ΔR_m – максимальное приращение сопротивления датчика) координата $x = B$, где B определяется соотношением

$$B = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \left(1 + \frac{\Delta R_m}{R_\text{Р}}\right). \qquad (14.5)$$

Анализ зависимости $x = f(\Delta R_1)$ показывает, что при размещении датчика в первом плече равновесная мостовая измерительная схема линейна.

Чувствительность равновесной схемы S определяется выражением

$$S = \lim_{\Delta R_1 \to 0} \frac{\Delta x}{\Delta R_1'}, \qquad (14.6)$$

где Δx – приращение выходной величины (изменение координаты движка реохорда);

ΔR_1 – приращение входной величины (изменение сопротивления датчика).

При $\Delta R_1 = \text{const}$ чувствительность S растет при росте приращения Δx. Приращение Δx растет в соответствии с (14.4) при уменьшении сопротивления $R_\text{Р}$. Таким образом, при прочих равных и неизменных условиях чувствительность равновесной схемы растет при уменьшении сопротивления реохорда. Отметим, что рост чувствительности в этом случае сопровождается уменьшением диапазона возможных изменений сопротивления датчика.

Рассмотрим зависимость $x = f(\Delta R_1)$ с датчиком в первом плече в общем случае, т. е. не накладывая какие-либо ограничения на значения параметров мостовой схемы (в том числе считаем, что $R_H \cdot R_4 \neq R_2 \cdot R_3$). Тогда, решая уравнение (14.1) относительно x, получим

$$x = \frac{R_H \cdot R_4 - R_2 \cdot R_3 + R_p \cdot R_4 + \Delta R_1 \cdot R_4}{R_p \cdot (R_3 + R_4)}. \qquad (14.7)$$

Разделим числитель и знаменатель соотношения (14.7) на R_4 и введем обозначение:

$$a = \frac{R_3}{R_4}. \qquad (14.8)$$

С учетом (14.8) соотношение (14.7) принимает вид

$$x = \frac{R_H - a \cdot R_2 + R_p}{R_p \cdot (1 + a)} + \Delta R_1 \cdot \frac{1}{R_p \cdot (1 + a)}. \qquad (14.9)$$

Сравнивая выражения (14.4) и (14.9) легко убедиться, что усложнение зависимости $x = f(\Delta R_1)$ за счет отказа от равенства $R_H \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$ не дает каких–либо существенных преимуществ. Более того, при этом не меняются основные свойства мостовой схемы: $x = f(\Delta R_1)$ по-прежнему имеет линейный характер, а чувствительность мостовой схемы зависит от значения сопротивления реохорда $R_\text{Р}$ (чувствительность растет при уменьшении $R_\text{Р}$ и падает при росте этого сопротивления). Исходя из результатов анализов, можно заключить, что отказ от упрощения рассматриваемого соотношения не дает принципиально новых результатов. В силу этого все дальнейшие исследования проведены из предположения, что в исходном состоянии схемы справедливо равенство $R_H \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$.

14.3. Датчик во втором плече

Рассматривается случай включения датчика с начальным (исходным) сопротивлением R_{2H} во второе плечо равновесной мостовой измерительной схемы постоянного тока (см. рис. 14.1). Проведем исследование схемы при следующих допущениях: приращение (изменение) сопротивления датчика равно ΔR; координата $x = 0$ при крайнем правом положении движка реохорда; координата $x = 1$ при крайнем левом положении движка реохорда, кроме того, считаем справедливым соотношение

$$R_1 \cdot R_4 = R_{2H} \cdot R_3, \qquad (14.10)$$

где R_{2H} – начальное (исходное) сопротивление датчика ($R_2 = R_{2H} + \Delta R_2$).

Условие равновесия для исследуемой мостовой схемы запишется в виде

$$(R_1 + R_p - R_p \cdot x) \cdot R_4 = (R_{2H} + \Delta R_2 + R_p \cdot x) \cdot R_3. \qquad (14.11)$$

Раскрывая скобки в уравнении (14.11), сокращая подобные члены и решая рассматриваемое уравнение относительно x, получим

$$x = \frac{R_4}{R_3 + R_4} + \Delta R_2 \cdot \frac{1}{R_p} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4}, \qquad (14.12)$$

где $\frac{R_4}{R_3 + R_4} = A$; $\frac{R_3}{R_3 + R_4} = C$.

Учитывая принятые обозначения, окончательно запишем зависимость $x = f(\Delta R_2)$:

$$x = A - \Delta R_2 \cdot \frac{1}{R_p} \cdot C . \qquad (14.13)$$

График полученной зависимости приведен на рис. 14.3.

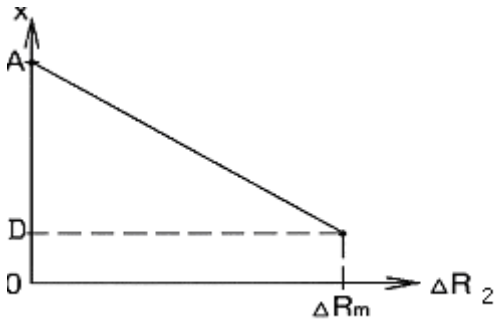


Рис. 14.3. Зависимость $x = f(\Delta R_2)$ для равновесной мостовой измерительной схемы с датчиком во втором плече

Отметим, что при ΔR_2=0 координата $x = A$ и при $\Delta R_2 = \Delta R_m$ координата $x = D$ (где ΔR_m – максимальное приращение сопротивления датчика; D – величина, определяемая соотношением (14.13) при $\Delta R_2 = \Delta R_m$).

$$D = A - \frac{\Delta R_m}{R_P} C \qquad (14.14)$$

Характер зависимости $x = f(\Delta R_2)$ свидетельствует о том, что при размещении датчика во втором плече равновесная мостовая измерительная схема линейна.

Чувствительность рассматриваемой равновесной мостовой измерительной схемы (в соответствии с соотношением (14.6), приведенным выше) зависит от значения сопротивления реохорда $R_\text{Р}$. При росте сопротивления реохорда чувствительность мостовой схемы уменьшается, а при снижении сопротивления реохорда чувствительность мостовой схемы возрастает. Отметим, что при росте чувствительности мостовой схемы одновременно уменьшается диапазон возможных изменений сопротивления датчика.

14.4. Датчик в третьем плече

Предполагается, что датчик включен в третье плечо равновесной мостовой измерительной схемы (см. рис. 14.1) и имеет в исходном (начальном) состоянии сопротивление R_{3H}.

Исследование мостовой схемы проводится при следующих допущениях: приращение (изменение) сопротивления датчика равно ΔR_3; координата движка реохорда $x = 0$ при крайнем правом его положении; координата движка реохорда $x = 1$ при крайнем левом его положении; справедливо соотношение $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_{3H}$ ($R_3 = R_{3H} + \Delta R_3$).

Условие равновесия для исследуемой мостовой схемы запишется в виде

$$\left(R_1 + R_p - R_p \cdot x\right) \cdot R_4 = \left(R_2 + R_p \cdot x\right) \cdot \left(R_{3H} + \Delta R_3\right). \qquad (14.15)$$

Раскрыв скобки в уравнении (14.15), сократив подобные члены и решив рассматриваемое соотношение относительно x, получим

$$x = \frac{R_4}{R_3 + R + \Delta R_3} - \Delta R_3 \cdot \frac{1}{R_p} \cdot \frac{R_2}{R_4 + R + R_3}. \qquad (14.16)$$

График полученной зависимости $x = f\left(\Delta R\right)$ приведен на рис. 14.4.

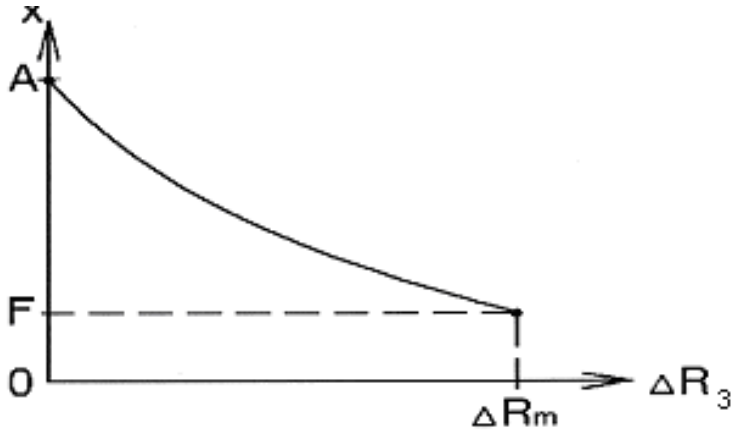


Рис. 14.4. Зависимость $x = f\left(\Delta R_3\right)$ для равновесной мостовой измерительной схемы с датчиком в третьем плече

Отметим, что при $\Delta R_3 = 0$ координата $x = A$ и при $\Delta R_3 = \Delta R_m$ координата $x = F$, где ΔR_m – максимальное приращение (изменение) сопротивления датчика; величина A – определяется соотношением (14.17), а величина F – соотношением (14.18).

$$A = \frac{R_4}{R_2 + R_{3H}}; \qquad (14.17)$$

$$F = \frac{R_4}{R_4 + R_{3H} + \Delta R_m} - \Delta R_m \cdot \frac{1}{R_p} \cdot \frac{R_2}{R_4 + R_{3H} + \Delta R_m}, \qquad (14.18)$$

где R_{3H} – начальное (исходное) сопротивление датчика.

Характер зависимости $x = f(\Delta R_3)$ свидетельствует о том, что при размещении датчика в третьем плече равновесная мостовая измерительная схема нелинейна.

Чувствительность рассматриваемой равновесной мостовой измерительной схемы (см. соотношение (14.6), приведенное выше) зависит от значения сопротивления реохорда $R_{\text{Р}}$. При росте сопротивления реохорда чувствительность мостовой схемы снижается, а при уменьшении сопротивления реохорда чувствительность мостовой схемы возрастает. Отметим, что при росте чувствительности мостовой схемы (за счет уменьшения $R_{\text{Р}}$) одновременно уменьшается диапазон возможных изменений сопротивления датчика.

14.5. Датчик в четвертом плече

Предполагается, что датчик включен в четвертое плечо равновесной мостовой измерительной схемы (см. рис. 14.1) и имеет в исходном (начальном) состоянии сопротивление R_{4H} ($R_4 = R_{4H} + \Delta R_4$).

Исследование мостовой схемы проводится при следующих допущениях: приращение (изменение) сопротивления датчика равно ΔR_4; координата движка реохорда $x = 0$ при крайнем правом его положении; координата движка реохорда $x = 1$ при крайнем левом его положении; справедливо соотношение

$$R_1 \cdot R_{4H} = R_2 \cdot R_3.$$

Условие равновесия для исследуемой мостовой схемы запишется в виде

$$(R_1 + R_p - R_p \cdot x) \cdot (R_{4H} + \Delta R) = (R_2 + R_p \cdot x) \cdot R_3. \qquad (14.19)$$

Раскрыв скобки в уравнении (14.19), сократив подобные члены и решив рассматриваемое соотношение относительно x, получим

$$x = \frac{R_{4H}}{R_{4H} + \Delta R_4 + R_3} + \Delta R_4 \cdot \frac{R_1 + R_p}{R_p \cdot (R_{4H} + \Delta R_4 + R_3}. \qquad (14.20)$$

График полученной зависимости $x = f(\Delta R_4)$ приведен на рис. 14.5.

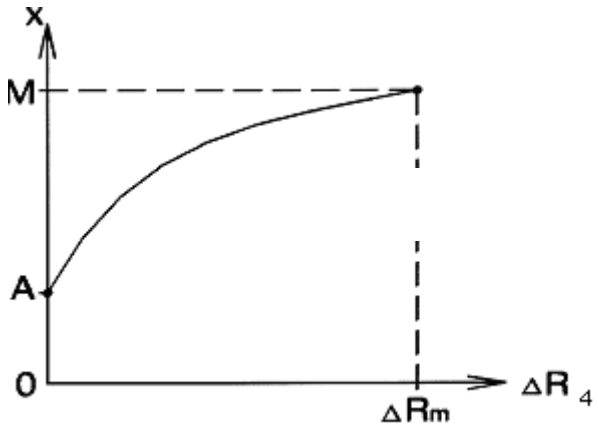


Рис. 14.5. Зависимость $x = f(\Delta R_4)$ для равновесной мостовой измерительной схемы с датчиком в четвертом плече

Проанализируем полученную зависимость $x = f(\Delta R_4)$. При отсутствии приращения (изменения) сопротивления датчика (при $\Delta R_4 = 0$) координата движка реохорда $x = A$, где величина A – определяется соотношением (14.21). При максимальном приращении (изменении) сопротивления датчика (при $\Delta R_4 = \Delta R_m$) координата движка реохорда $x = M$ определяется соотношением (14.22).

$$A = \frac{R_{4H}}{R_{4H} + R_3}; \qquad (14.21)$$

$$M = \frac{R_{4H}}{R_{4H} + \Delta R_m + R_3} - \Delta R_m \cdot \frac{R_1 + R_p}{R_p \cdot (R_{4H} + \Delta R_m + R_3}, \qquad (14.22)$$

где R_{4H} – начальное (исходное) сопротивление датчика R_{4H} ($R_4 = R_{4H} + \Delta R_4$).

Зависимость $x = f(\Delta R_4)$ в рассматриваемом случае нелинейна, что свидетельствует о нелинейности равновесной мостовой измерительной схемы при размещении датчика в четвертом плече (см. рис. 14.1).

Чувствительность равновесной мостовой измерительной схемы с датчиком в четвертом плече зависит от значения сопротивления реохорда (см. соотношения (14.6) и (14.20), приведенные выше), но в рассматриваемом случае эта

зависимость менее выражена и носит более сложный характер, чем в случаях размещения датчиков в других плечах мостовой схемы. Вместе с тем и при размещении датчика в четвертом плече с ростом сопротивления реохорда уменьшается чувствительность мостовой схемы, а при уменьшении сопротивления реохорда чувствительность мостовой схемы возрастает.

Влияние сопротивления реохорда на чувствительность мостовой схемы рассмотрено при условии неизменности всех других параметров схемы (сопротивлений плеч, сопротивления датчика и его приращения, напряжения питания, чувствительности нуль-индикатора). Необходимо также отметить, что при росте чувствительности мостовой схемы (за счет $R_{\text{Р}}$) уменьшается диапазон возможных изменений сопротивления датчика, а при уменьшении чувствительности (за счет увеличения $R_{\text{Р}}$) диапазон возможных изменений сопротивления датчика возрастает.

14.6. Примеры расчета равновесных схем

Пример 1

Считаются заданными следующие величины (см. рис. 14.1): начальное сопротивление датчика $R_{\text{н}}$; конечное сопротивление датчика $R_{\text{к}}$, значения сопротивлений R_3 и R_4. Датчик включен в 1-е плечо (R_1 – текущее сопротивление датчика).

Требуется найти значение сопротивления реохорда $R_{\text{Р}}$ и значение сопротивления R_2.

Предполагаем, что сопротивление датчика равно $R_{\text{н}}$ и движок реохорда при этом находится в крайнем левом положении (т. е. $x = 0$). Тогда условие равновесия (для схемы, изображенной на рис. 14. 1) запишется в виде

$$\left(R_{\text{н}} + R_{\text{Р}}\right) \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3. \qquad (14.23)$$

Разделим правую и левую части равенства (14.23) на R_4 и введем обозначение $a = \dfrac{R_3}{R_4}$, которое уже использовалось в п. 14.1 настоящего учебного посо-

бия (см. выражение (14.8), приведенное выше). В этом случае выражение (14.23) принимает вид

$$R_{\text{н}} + R_{\text{Р}} = R_2 \cdot a\,. \qquad (14.24)$$

Предполагая, что сопротивление датчика равно $R_{\text{к}}$ и движок реохорда при этом находится в крайнем правом положении (т. е. $x = 1$), запишем условие равновесия (для схемы на рис. 14.1):

$$R_{\text{к}}+R_4 = (R_2+R_{\text{Р}})\cdot R_3 \qquad (14.25)$$

Используя принятое обозначение $a = \dfrac{R_3}{R_4}$, запишем уравнение (14.25) в виде

$$R_{\text{к}} = (R_2+R_{\text{Р}})\cdot a \qquad (14.26)$$

Решая совместно уравнения (14.24) и (14.26) относительно $R_{\text{Р}}$ и R_2, получим

$$R_{\text{Р}} = \frac{R_{\text{к}} - R_{\text{н}}}{1+a}, \qquad (14.27)$$

$$R_2 = \frac{R_{\text{к}} + a \cdot R_{\text{н}}}{a \cdot (1+a)}. \qquad (14.28)$$

Полученные соотношения (14.27) и (14.28) позволяют рассчитать значения искомых величин R_P и R_2 по значениям заданных величин $R_{\text{Н}}$, $R_к$ и $a = R_3/R_4$.

Пример 2

Рассчитать мостовую схему, приведенную на рис. 14.6.

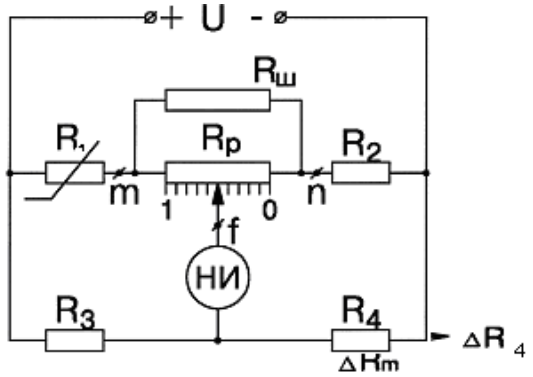


Рис. 14.6. Расчетная принципиальная схема равновесного моста постоянного тока с шунтом: $R_{\text{Ш}}$ – сопротивление шунта; R_1 – сопротивление датчика (текущее)

Считаются заданными следующие величины: начальное сопротивление датчика $R_{н}$; конечное сопротивление датчика $R_{к}$; сопротивление реохорда $R_{Р}$; значение сопротивлений R_3 и R_4.

Требуется найти: значение сопротивления шунта $R_{Ш}$ и значение сопротивления R_2.

Рассмотрим параллельное соединение сопротивлений $R_{Ш}$ и $R_{Р}$.

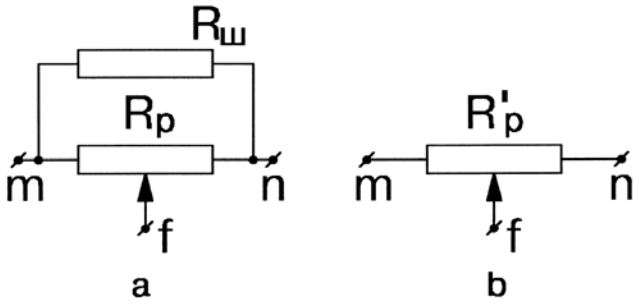


Рис. 14.7. Эквивалентные электрические схемы

Электрическая схема, приведенная на рис. 14.7, *a*, эквивалентна схеме, приведенной на рис. 14.7, *b*, если удовлетворяется условие

$$R'_{Р} = \frac{R_{Р} \cdot R_{Ш}}{R_{Р} + R_{Ш}} \tag{14.29}$$

Таким образом, схема рис. 14.6 сводится к схеме, приведенной на рис. 11.1 (если принять $R_{Р} = R'_{Р}$), а пример 2 сводится к примеру 1, уже рассмотренному выше. Исходя из сказанного, можно записать для рассматриваемого случая:

$$R'_{Р} = \frac{R_{к} - R_{н}}{1 + a}, \tag{14.30}$$

$$R_2 = \frac{R_{к} + a \cdot R_{н}}{a \cdot (1 + a)}. \tag{14.31}$$

Решая уравнение (14.29) относительно $R_{Ш}$, получим

$$R_{Ш} = \frac{R_{Р} \cdot R'_{Р}}{R_{Р} - R'_{Р}}. \tag{14.32}$$

Подставляя в (14.32) значение $R'_{\text{Р}}$ в соответствии с выражением (14.30), найдем соотношение, связывающее значение сопротивления шунта $R_{\text{Ш}}$ с заданными по условию величинами:

$$R_{\text{Ш}} = \frac{R_{\text{Р}} \cdot \left(R_{\text{к}} - R_{\text{н}}\right)}{R_{\text{Р}} \cdot \left(1 + a\right) - R_{\text{к}} + R_{\text{н}}} \qquad (14.33)$$

Полученные соотношения (14.31) и (14.33) позволяют рассчитать значения величин R_2 и $R_{\text{Ш}}$ (по значениям заданных величин). Отметим, что шунтирование реохорда повышает чувствительность схемы и изменяет диапазон возможных изменений сопротивления датчика (диапазон при этом сокращается по сравнению со случаем без шунтирования реохорда).

15. МОСТОВЫЕ СХЕМЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

15.1. Общие положения

В данном разделе рассмотрены основные положения и соотношения, используемые при анализе четырехплечих мостовых измерительных схем переменного тока (рис. 15.1).

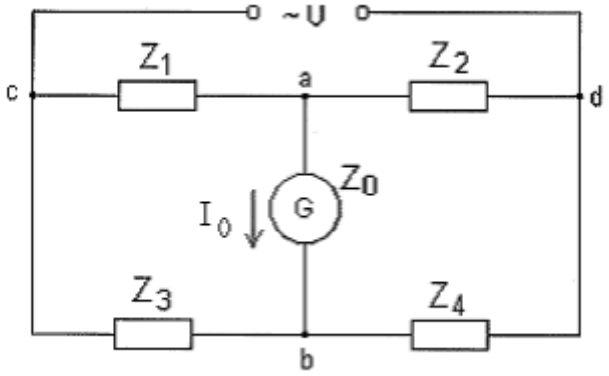


Рис. 15.1. Принципиальная электрическая схема
четырехплечего измерительного моста переменного тока

В главах 11, 12, 13 и 14 учебного пособия рассмотрены основные соотношения и характеристики применительно к мостовым измерительным схемам постоянного тока. Мостовая схема постоянного тока является частным случаем мостовой схемы переменного тока (когда $Z = R$ и $f = 0$, где f – частота питающего схему тока) и все соотношения для мостов постоянного тока в основном сохраняют правомерность и для мостов переменного тока, если в них активные сопротивления R заменить комплексными сопротивлениями Z, а напряжения и токи – комплексами соответствующих величин. При этом у мостов переменного тока появляются новые свойства, которыми не обладают мостовые схемы постоянного тока и которые будут рассмотрены ниже, в последующих параграфах учебного пособия. В данном разделе исследуем рассматриваемый вопрос чисто формально, путем замены величин R, I и U на комплексные величины.

Прежде чем проводить замены, рассмотрим принятый порядок обозначения комплексных величин.

Государственный стандарт ГОСТ 1494–77 [56] устанавливает следующие буквенные обозначения комплексных величин (табл. 15.1).

Таблица 15.1

Обозначение комплексных величин

Наименование величины	**Обозначение**	
	основное	**резервное**
Действительная часть	A'	$\mathrm{Re}\,\underline{A}$
Мнимая часть	A''	$\mathrm{Im}\,\underline{A}$
Комплексная величина	$\underline{A} = A' + jA''$ $\underline{A} = A \cdot e^{j\varphi}$ $\underline{A} = A \angle \varphi$	$\underline{A} = \mathrm{Re}\,\underline{A} + \mathrm{j}\,\mathrm{Im}\,\underline{A}$ $\underline{A} = \lvert\underline{A}\rvert \cdot e^{j\varphi}$ $\underline{A} = \lvert\underline{A}\rvert \angle \varphi$

Для комплексных величин следует применять обозначения типа $\underline{C} = \mathrm{Re}\,\underline{C} + j\mathrm{Im}\,\underline{C}$ или $\underline{C} = B + jD$, где под C, B, D понимаются любые величины. Кроме рассмотренной алгебраической формы записи комплексного числа, может быть использована показательная форма записи: $\underline{C} = C \cdot e^{j\varphi}$, где C – модуль комплексного числа; φ – аргумент комплексного числа.

Для электрических величин используемые буквенные обозначения приведены в 15.2.

Отметим, что по государственному стандарту [56] допускается модули комплексных величин, не являющихся изображениями функции времени, обозначать строчными буквами.

Допускается для обозначения комплексных действующих и амплитудных значений величин, являющихся синусоидальными функциями времени, взамен способов, указанных в табл. 15.1 и 15.2, над основным обозначением величины ставить точку.

Таблица 15.2

Обозначение электрических комплексных величин

Наименование величины	**Обозначение**	
	основное	**резервное**
Действительная часть (активное сопротивление)	R	$\mathrm{Re}\,\underline{Z}$
Мнимая часть (реактивное сопротивление)	X	$\mathrm{Im}\,\underline{Z}$
Комплексная величина (комплексное (полное) сопротивление)	$\underline{Z}=R+\mathrm{j}X$ $\underline{Z}=Z\cdot e^{j\varphi}$ $\underline{Z}=Z\angle\varphi$ $\dot{I}$; $\dot{I}_m$ $\dot{U}$; $\dot{U}_m$	$\underline{Z}=\mathrm{Re}\,\underline{Z}+\mathrm{j}\,\mathrm{Im}\,\underline{Z}$ $\underline{Z}=\lvert\underline{Z}\rvert\cdot e^{j\varphi}$ $\underline{Z}=\lvert Z\rvert\angle\varphi$

В табл. 15.2 приняты следующие обозначения: $\underline{Z}$ – комплексное сопротивление; Z – модуль комплексного сопротивления; R – активное сопротивление; X – реактивное сопротивление; φ – аргумент комплексного сопротивления (сдвиг по фазе между током и напряжением); $\dot{I}$ и $\dot{U}$ – комплексы действующих значений тока и напряжения; $\dot{I}_m$ и $\dot{U}_m$ – комплексы амплитудных значений тока и напряжения. Отметим, что в электротехнической литературе принято обозначать комплексное сопротивление через Z большое (печатное), а модуль комплексного сопротивления – через z малое (прописное). Представим ток в измерительной диагонали мостовой схемы с учетом приведенных обозначений:

$$\dot{I}_0=\dot{U}\cdot\frac{\underline{Z}_1\cdot\underline{Z}_4-\underline{Z}_2\cdot\underline{Z}_3}{\underline{Z}_0\cdot(\underline{Z}_1+\underline{Z}_2)\cdot(\underline{Z}_3+\underline{Z}_4)+\underline{Z}_1\cdot\underline{Z}_2\cdot(\underline{Z}_3+\underline{Z}_4)+\underline{Z}_3\cdot\underline{Z}_4\cdot(\underline{Z}_1+\underline{Z}_2)} \quad (15.1)$$

где $\dot{I}_0$ – комплекс тока в измерительной диагонали;

$\dot{U}$ – комплекс напряжения питания;

$\underline{Z}_0$ – комплексное сопротивление прибора G, установленного в измерительной диагонали мостовой схемы;

$\underline{Z}_1$, $\underline{Z}_2$, $\underline{Z}_3$, $\underline{Z}_4$ – комплексные сопротивления плеч мостовой схемы.

Равновесие мостовой схемы наступает при таком подборе параметров моста, при котором $\dot{I}_0 = 0$, что имеет место при выполнении условия

$$\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_4 = \underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3. \qquad (15.2)$$

В развернутом виде выражения комплексных (полных) сопротивлений могут быть представлены в алгебраической или показательной форме. В алгебраической форме эти выражения принимают вид

$$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1, \qquad (15.3)$$

где R_1 и X_1 – активная и реактивная составляющие комплексного (полного) сопротивления первого плеча мостовой схемы;

$$\underline{Z}_2 = R_2 + jX_2, \qquad (15.4)$$

где R_2 и X_2 – активная и реактивная составляющие комплексного (полного) сопротивления второго плеча мостовой схемы;

$$\underline{Z}_3 = R_3 + jX_3, \qquad (15.5)$$

где R_3 и X_3 – активная и реактивная составляющие комплексного (полного) сопротивления третьего плеча мостовой схемы;

$$\underline{Z}_4 = R_4 + jX_4, \qquad (15.6)$$

где R_4 и X_4 – активная и реактивная составляющие комплексного (полного) сопротивления четвертого плеча мостовой схемы.

В показательной форме рассматриваемые выражения принимают вид

$$\underline{Z}_1 = Z_1 \cdot e^{j\varphi_1}, \qquad (15.7)$$

где $Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}$ – модуль комплексного (полного) сопротивления первого плеча мостовой схемы;

$\varphi_1 = \operatorname{arctg}\dfrac{X_1}{R_1}$ – угол фазового сдвига тока относительно напряжения в первом плече мостовой схемы;

$$\underline{Z}_2 = Z_2 \cdot e^{j\varphi_2}, \qquad (15.8)$$

где $Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$ – модуль комплексного (полного) сопротивления второго плеча мостовой схемы;

$\varphi_1 = \operatorname{arctg}\dfrac{X_2}{R_2}$ – угол фазового сдвига тока относительно напряжения во втором плече мостовой схемы;

$$\underline{Z}_3 = Z_3 \cdot e^{j\varphi_3}, \tag{15.9}$$

где $Z_3 = \sqrt{R_3^2 + X_3^2}$ – модуль комплексного (полного) сопротивления третьего плеча мостовой схемы;

$\varphi_1 = \operatorname{arctg}\dfrac{X_3}{R_3}$ – угол фазового сдвига тока относительно напряжения в третьем плече мостовой схемы;

$$\underline{Z}_4 = Z_4 \cdot e^{j\varphi_4}, \tag{15.10}$$

где $Z_4 = \sqrt{R_4^2 + X_4^2}$ – модуль комплексного (полного) сопротивления четвертого плеча мостовой схемы;

$\varphi_1 = \operatorname{arctg}\dfrac{X_4}{R_4}$ – угол фазового сдвига тока относительно напряжения в четвертом плече мостовой схемы.

Подставляя в (15.2) значения $\underline{Z}_1$, $\underline{Z}_2$, $\underline{Z}_3$ и $\underline{Z}_4$ в показательной форме (15.7), (15.8), (15.9) и (15.10), получим

$$Z_1 \cdot e^{j\varphi_1} \cdot Z_4 \cdot e^{j\varphi_4} = Z_2 \cdot e^{j\varphi_2} \cdot Z_3 \cdot e^{j\varphi_3}, \tag{15.11}$$

$$Z_1 \cdot Z_4 \cdot e^{j(\varphi_1+\varphi_4)} = Z_2 \cdot Z_3 \cdot e^{j(\varphi_2+\varphi_3)}. \tag{15.12}$$

Выражение (15.12) правомерно, если выполняются условия:

$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3, \tag{15.13}$$

$$\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3. \tag{15.14}$$

Таким образом, для уравновешивания мостовой схемы переменного тока необходимо выполнить два условия: (15.13) и (15.14). Другими словами, для уравновешивания рассматриваемой схемы необходимо две регулировки («по модулям» и «по фазам»), в то время как для уравновешивания мостовой схемы постоянного тока достаточно одной регулировки.

Условие (15.14) показывает, при каком расположении сопротивлений, в зависимости от их характера, можно уравновесить мостовую схему. Если смежные плечи моста, например третье и четвертое, имеют чисто активные сопротивления R_3 и R_4 (то есть $\varphi_3 = \varphi_4 = 0$), то сопротивление двух других плеч должно иметь или индуктивный, или емкостной характер. Если противоположные плечи имеют чисто активные сопротивления, то одно из двух других должно иметь индуктивный характер, а второе – емкостной.

В мостах переменного тока (как и в мостах постоянного тока) в качестве измерительных и нуль-индикаторов могут использоваться электронные приборы с большим внутренним сопротивлением ($R_0 \to \infty$). Такие мосты, как уже отмечалось, называются *потенциальными мостовыми измерительными схемами*. Для этих схем напряжение между точками a и b (рис. 15.1) можно определить по соотношению

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}_0 = \dot{U} \cdot \frac{\underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_4 - \underline{Z}_2 \cdot \underline{Z}_3}{(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_4) \cdot (\underline{Z}_2 + \underline{Z}_3)}, \qquad (15.15)$$

где $\dot{U}_{ab}$, $\dot{U}_0$, $\dot{U}$ – комплексы соответствующих напряжений;

$\underline{Z}_1$, $\underline{Z}_2$, $\underline{Z}_3$, $\underline{Z}_4$ – комплексные (полные) сопротивления, включенные соответственно в первое, второе, третье и четвертое плечи мостовой схемы.

Отметим, что если в момент считывая показаний мостовая схема уравновешена (соотношение (15.2) выполняется), то такая мостовая схема называется *равновесной*. Если же в момент считывания показаний мостовая схема не уравновешена (соотношение (15.2) не выполняется), то такая мостовая схема называется *неравновесной*. В дальнейшем основное внимание будет уделено равновесным мостовым схемам, а неравновесные схемы (как менее распространенные) будут рассмотрены сравнительно кратко в виде обзора возможных вариантов схем переменного тока.

15.2. Измерения параметров катушек индуктивности

Для измерения индуктивностей и для включения индуктивных датчиков широко используются равновесные мостовые схемы переменного тока. При

этом электрическая схема замещения катушек индуктивностей может быть последовательной (рис. 15.2) или параллельной (рис. 15.3).

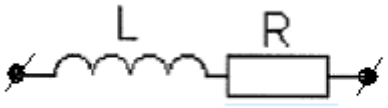


Рис. 15.2. Последовательная схема замещения реальной катушки индуктивностей:
L – идеальная индуктивность; R – активное сопротивление

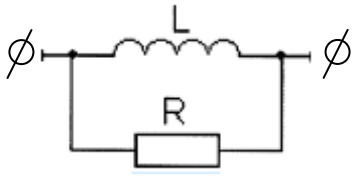


Рис. 15.3. Параллельная схема замещения реальной катушки индуктивностей:
L – идеальная индуктивность; R – активное сопротивление

Последовательная схема замещения используется при большой добротности исследуемой катушки индуктивности ($Q>1$), а параллельная схема замещения используется при малой добротности исследуемой катушки индуктивности ($Q<1$).

Добротность Q для обеих схем замещения определяется соотношением

$$Q=\frac{X_э}{R_э}, \tag{15.16}$$

где $X_э$ – эквивалентное реактивное сопротивление исследуемой катушки индуктивности;

$R_э$ – эквивалентное активное сопротивление исследуемой катушки индуктивности.

Для последовательной схемы замещения справедливы неравенства:

$$X_э=X=\omega L, \tag{15.17}$$

$$R_э=R, \tag{15.18}$$

$$Q=\frac{\omega L}{R}, \tag{15.19}$$

где $\omega=2\pi f$ – угловая частота;

f – частота тока, протекающего по плечам мостовой схемы.

Для параллельной схемы замещения можно записать (см. рис. 15.3):

$$\underline{Z}_э = \frac{R \cdot j\omega L}{R + j\omega L}, \tag{15.20}$$

$$\underline{Z}_э = \frac{\omega^2 L^2 R}{R^2 + \omega^2 L^2} + j\frac{\omega L R^2}{R^2 + \omega^2 L^2}, \tag{15.21}$$

$$\underline{Z}_э = R_э + jX_э, \tag{15.22}$$

$$R_э = \frac{\omega^2 L^2 R}{R^2 + \omega^2 L^2}, \tag{15.23}$$

$$x_э = \frac{\omega L R^2}{R^2 + \omega^2 L^2}, \tag{15.24}$$

$$Q = \frac{X_э}{R_э} = \frac{R}{\omega L}. \tag{15.25}$$

Полученные выражения (15.19) и (15.25) позволяют рассчитать добротность катушек индуктивностей при использовании соответственно последовательной и параллельной схем замещения.

Необходимо отметить, что четырехплечие мосты обладают плохой сходимостью (трудно уравновешиваются) при малых значениях коэффициентов добротности (в том числе и при параллельной схеме замещения) и, в силу этого, используются редко. Чаще применяются (при измерениях малых значений коэффициентов добротности) шестиплечие мосты, описываемые ниже, в последующих пунктах учебного пособия.

В данном параграфе учебного пособия рассматривается измерение индуктивностей при использовании последовательной схемы замещения (рис. 15.4).

Условие равновесия для мостовой схемы рис. 15.4 запишется в виде

$$\left(R + j\omega L\right) \cdot R_4 = \left(R_2 + j\omega L_2\right) \cdot R_3, \tag{15.26}$$

$$R \cdot R_4 + j\omega L R_4 = R_2 \cdot R_3 + j\omega L_2 R_3. \tag{15.27}$$

Два комплексных числа равны между собой, если равны их вещественные и мнимые части. Приравнивая левые и правые вещественные и мнимые части уравнения (15.27) и решая полученные равенства относительно искомых величин R, L и Q, получим

$$R = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}, \qquad (15.28)$$

$$L = L_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}. \qquad (15.29)$$

Поскольку в данном случае использована последовательная схема замещения, добротность катушки индуктивностей оценивается соотношением (15.19).

Таким образом, добившись равновесия мостовой схемы с помощью магазинов сопротивлений R_2 и индуктивностей L_2, можно по выражениям (15.28), (15.29) и (15.19) определить измеряемые величины R, L и Q.

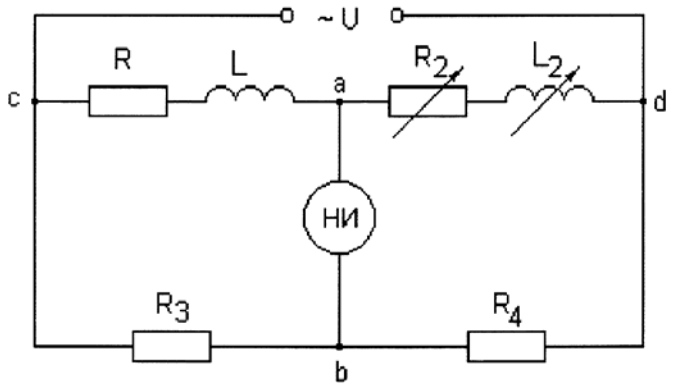


Рис. 15.4. Принципиальная электрическая схема четырехплечего моста для измерения параметров катушек индуктивностей (первый вариант): R, L – измеряемые величины; R_2 – магазин сопротивлений; L_2 – магазин индуктивностей; R_3, R_4 – постоянные сопротивления; НИ – нуль-индикатор

Для измерения искомых величин R и L, кроме описанной схемы рис. 15.4, может быть использована мостовая схема с магазином емкостей (рис. 15.5).

Комплексные сопротивления плеч моста следующие значения (см. рис. 15.5):

первое плечо $\underline{Z}_1 = R + j\omega L$;

второе плечо $\underline{Z}_2 = R_2$;

третье плечо $\underline{Z}_3 = R_3$;

четвертое плечо $\underline{Z}_4 = \dfrac{R_4 \cdot (j\omega C_4)^{-1}}{R_4 + (j\omega C_4)^{-1}} = \dfrac{R_4}{1 + j\omega C_4 R_4}$.

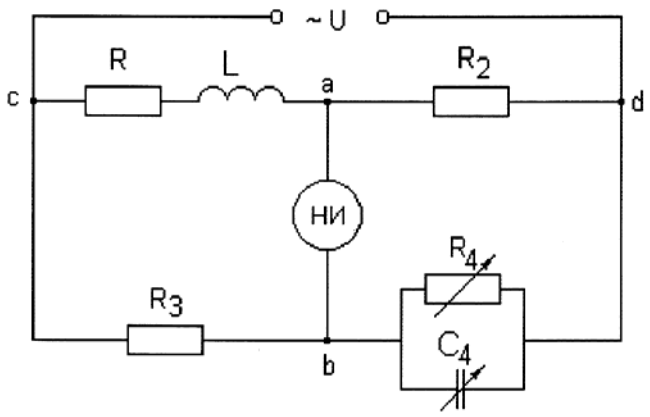


Рис. 15.5. Принципиальная электрическая схема четырехплечего моста для измерения параметров катушки индуктивностей (второй вариант): R, L – измеряемые величины; R_4 – магазин сопротивлений; C_4 – магазин емкостей; R_2, R_3 – постоянные сопротивления; НИ – нуль-индикатор

При равновесии мостовой схемы имеет место следующее соотношение:

$$(R + j\omega L) \cdot \frac{R_4}{1 + j\omega C_4 R_4} = R_2 \cdot R_3, \qquad (15.30)$$

$$R \cdot R_4 + j\omega L R_4 = R_2 \cdot R_3 + j\omega C_4 R_2 R_3 R_4. \qquad (15.31)$$

Приравнивая левые и правые вещественные и мнимые части уравнения (15.31) друг другу и решая эти равенства относительно искомых величин R и L, получим

$$R = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}, \qquad (15.32)$$

$$L = C_4 R_2 R_3. \qquad (15.33)$$

Добротность исследуемой катушки индуктивностей записывается в виде

$$Q = \frac{\omega L}{R} = \omega C_4 R_4. \qquad (15.34)$$

Таким образом, добившись равновесия мостовой схемы с помощью магазина сопротивлений R_4 и магазина емкостей C_4, можно по выражениям (15.32)–(15.34) определить измеряемые величины R, L и Q.

15.3. Измерение параметров конденсаторов

Реальный конденсатор представляется эквивалентной электрической схемой в виде идеальной емкости, последовательно или параллельно соединенной с активным сопротивлением, обусловленным потерями в исследуемом конденсаторе.

На рис. 15.6 приведены эквивалентные электрические схемы реального конденсатора с потерями.

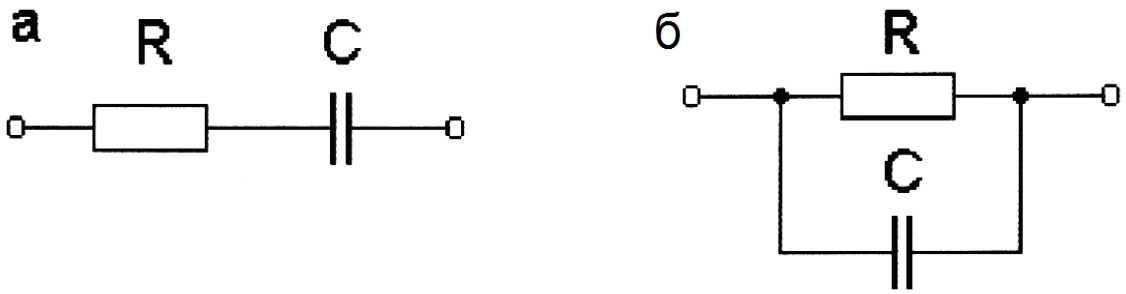


Рис. 15.6. Последовательная (*а*) и параллельная (*б*) электрические эквивалентные схемы реального конденсатора с потерями

Потери в реальном конденсаторе принято оценивать величиной тангенса угла потерь ($\mathrm{tg}\,\delta$), определяемого соотношением

$$tg\delta = \frac{R_э}{X_э}, \qquad (15.35)$$

где $R_э$ – активная составляющая эквивалентной схемы замещения конденсатора;

$X_э$ – реактивная составляющая эквивалентной схемы замещения конденсатора.

Для последовательной схемы замещения (рис. 15.6, *а*) справедливы равенства:

$$X_э = X_c = \frac{1}{\omega C}, \qquad (15.36)$$

$$R_э = R, \qquad (15.37)$$

$$\mathrm{tg}\,\delta = \omega \cdot C \cdot R, \qquad (15.38)$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота.

Для параллельной схемы замещения (рис. 15.6, *б*) справедливы равенства:

$$\underline{Z}_э = \frac{R \cdot (j\omega \cdot C)^{-1}}{R + (j\omega \cdot C)^{-1}}, \tag{15.39}$$

$$\underline{Z}_э = \frac{R}{1+\omega^2 C^2 R^2} - j\frac{\omega C R^2}{1+\omega^2 C^2 R^2}, \tag{15.40}$$

$$\underline{Z}_э = R_э - jx_э, \tag{15.41}$$

$$R_э = \frac{R}{1+\omega^2 C^2 R^2}, \tag{15.42}$$

$$X_э = \frac{\omega C R^2}{1+\omega^2 C^2 R^2}, \tag{15.43}$$

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{1}{\omega C R}. \tag{15.44}$$

Полученные выражения (15.38) и (15.44) позволяют рассчитать $\operatorname{tg}\delta$ при использовании соответственно последовательной и параллельной схем замещения реальных конденсаторов.

Для измерения параметров конденсаторов с малыми потерями используются последовательные схемы замещения (рис. 15.7).

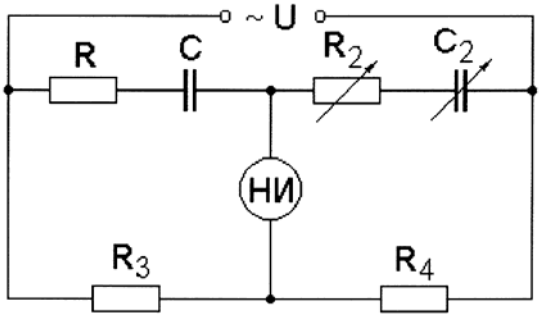


Рис. 15.7. Принципиальная электрическая схема моста переменного тока для измерения параметров реального конденсатора с использованием последовательной схемы замещения: R, C – измеряемые величины; R_2 – магазин сопротивлений; C_2 – магазин емкостей; R_3, R_4 – постоянные сопротивления; НИ – нуль-индикатор

Полные (комплексные) сопротивления плеч мостовой схемы, приведенной на рис. 15.7, имеют следующие значения:

первое плечо $\underline{Z}_1 = R - j\frac{1}{\omega C}$;

второе плечо $\underline{Z}_2 = R_2 - j\dfrac{1}{\omega C_2}$;

третье плечо $\underline{Z}_3 = R_3$;

четвертое плечо $\underline{Z}_4 = R_4$.

При равновесии рассматриваемой мостовой схемы должно выполняться условие (15.2), которое в нашем случае имеет вид

$$\left(R - j\frac{1}{\omega C}\right)\cdot R_4 = \left(R_2 - j\frac{1}{\omega C_2}\right)\cdot R_3, \qquad (15.45)$$

$$R\cdot R_4 - j\frac{R_4}{\omega C} = R_2\cdot R_3 - j\frac{R_3}{\omega C_2}. \qquad (15.46)$$

Два комплексных числа равны между собой, если равны их вещественные и мнимые части. Приравнивая вещественные и мнимые части уравнения (15.46) и решая полученные равенства относительно искомых величин R и C, получим

$$R = R_2\cdot\frac{R_3}{R_4}, \qquad (15.47)$$

$$C = C_2\cdot\frac{R_4}{R_3}. \qquad (15.48)$$

Таким образом, добившись равновесия мостовой схемы, приведенной на рис. 15.7, с помощью магазина сопротивлений R_2 и магазина емкостей C_2, можно по выражениям (15.47), (15.48) и (15.38) определить параметры реального конденсатора: R (эквивалентное активное сопротивление), C (идеальную емкость) и $\mathrm{tg}\,\delta$ (тангенс угла потерь).

Для измерения параметров конденсаторов с большими потерями используются параллельные схемы замещения (рис. 15.8).

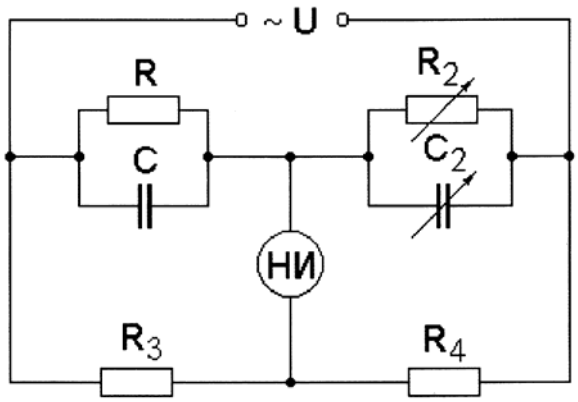


Рис. 15.8. Принципиальная электрическая схема моста переменного тока для измерения параметров реального конденсатора с использованием параллельной схемы замещения: R, C – измеряемые величины; R_2 – магазин сопротивлений; C_2 – магазин емкостей; R_3, R_4 – постоянные сопротивления; НИ – нуль-индикатор

Полные (комплексные) сопротивления плеч рассматриваемой мостовой схемы имеют следующие значения:

первое плечо $\underline{Z}_1 = \dfrac{R \cdot (j\omega C)^{-1}}{R + (j\omega C)^{-1}}$;

второе плечо $\underline{Z}_2 = \dfrac{R_2 \cdot (j\omega C)^{-1}}{R_2 + (j\omega C)^{-1}}$;

третье плечо $\underline{Z}_3 = R_3$;

четвертое плечо $\underline{Z}_4 = R_4$.

При равновесии исследуемой мостовой схемы должно выполняться условие (15.2), которое в рассматриваемом случае имеет вид

$$\frac{R \cdot (j\omega C)^{-1}}{R + (j\omega C)^{-1}} \cdot R_4 = \frac{R_2 \cdot (j\omega C)^{-1}}{R_2 + (j\omega C)^{-1}} \cdot R_2 . \qquad (15.49)$$

$$R \cdot R_2 \cdot R_4 \cdot \omega C_2 - jR \cdot R_4 = R \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \omega C - jR_2 \cdot R_3 . \qquad (15.50)$$

Приравнивая вещественные и мнимые части уравнения (15.50), находящиеся в левой и правой частях этого уравнения, и решая полученные равенства относительно искомых величин, получим

$$R = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}, \qquad (15.51)$$

$$C = C_2 \cdot \frac{R_4}{R_3}. \qquad (15.52)$$

Таким образом, добившись равновесия мостовой схемы с помощью магазина сопротивлений R_2 и магазина емкостей C_2, можно по выражениям (15.51), (15.52) и (15.44) определить параметры исследуемого конденсатора: R (эквивалентное активное сопротивление), C (идеальную емкость) и $\mathrm{tg}\,\delta$ (тангенс угла потерь).

15.4. Шестиплечие мостовые схемы

Шестиплечие мостовые схемы нашли широкое применение для измерения параметров катушек индуктивностей (R, L и Q) при малых значениях коэффициентов добротности. Использование четырехплечих мостов в этом случае затруднительно, т. к. для них при коэффициенте добротности $Q = 1$ процесс уравновешивания схемы становится затруднительным, а при $Q < 0{,}5$ приведение моста в состояние равновесия практически невыполнимо. Хорошую сходимость при малых коэффициентах добротности имеют шестиплечие мосты. Принципиальная электрическая схема шестиплечего моста приведена на рис. 15.9.

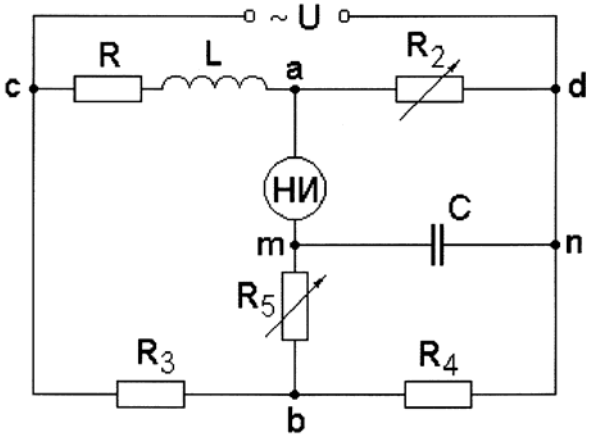


Рис. 15.9. Принципиальная электрическая схема шестиплечего моста для измерения параметров катушек индуктивностей с малой добротностью:
R, L – измеряемые величины; R_2, R_5 – магазины сопротивлений;
R_3, R_4 – постоянные сопротивления; C – постоянная емкость;
НИ – нуль-индикатор

Условия равновесия шестиплечего моста, приведенного на рис. 15.9, можно найти путем трансформации треугольника $m-n-b$, образованного элементами C, R_4 и R_5, в звезду. После такой трансформации шестиплечий мост преобразуется в четырехплечий, уравнение равновесия которого хорошо известно и уже многократно приводилось и использовалось.

После указанных преобразований находим два условия равновесия мостовой схемы:

$$R = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}, \tag{15.53}$$

$$L = C \cdot \frac{R_2}{R_4}\left(R_3 \cdot R_4 + R_5\left(R_2 + R_3\right)\right). \tag{15.54}$$

Мост уравновешивается регулировкой переменных сопротивлений R_2 и R_5. Первоначально изменением сопротивления R_2 выполняется первое условие равновесия моста (см. выражение (15.53)), затем изменением сопротивления R_5 выполняется второе условие равновесия моста (см. выражение (15.54)). Значение R_5 не входит в первое условие равновесия. Благодаря такому свойству шестиплечий мост обладает хорошей сходимостью, которая сохраняется и при малых значениях коэффициента добротности исследуемой катушки индуктивностей.

Таким образом, добившись равновесия мостовой схемы с помощью магазинов сопротивлений R_2 и R_5, можно по выражениям (15.53), (15.54) и (15.19) определить параметры исследуемой катушки: активное сопротивление R, индуктивность L и добротность Q.

15.5. Трансформаторные мостовые схемы

Четырехплечие трансформаторные измерительные мосты отличаются от мостов, рассмотренных выше, наличием индуктивно связанных плеч в диагонали источника питания (рис. 15.10) или в цепи нуль-индикатора (рис. 15.11).

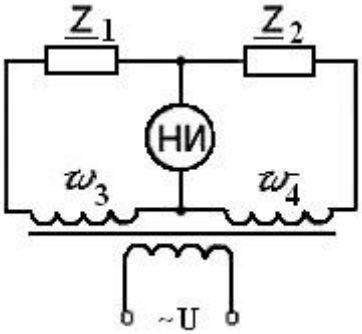


Рис. 15.10. Принципиальная электрическая схема трансформаторного измерительного моста с индуктивно связанными плечами (первый вариант): $\underline{Z}_1$, $\underline{Z}_2$ – комплексные сопротивления; *w3, w4* – обмотки трансформатора, образующие третье и четвертое плечи мостовой схемы

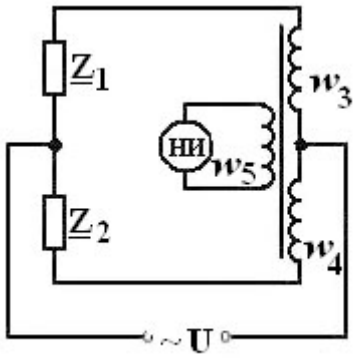


Рис. 15.11. Принципиальная электрическая схема трансформаторного измерительного моста с индуктивно связанными плечами (второй вариант): $\underline{Z}_1$, $\underline{Z}_2$ – комплексные сопротивления; *w3, w4* – обмотки трансформатора, образующие третье и четвертое плечи мостовой схемы; *w5* – обмотка трансформатора в цепи нуль–индикатора

В мостах переменного тока, рассмотренных в пп. 15.1, 15.2, 15.3, 15.4 учебного пособия, третье и четвертое плечи содержат резисторы. Между тем на повышенных частотах начинают проявляться не только их активные сопротивления R_3 и R_4 (что использовано во всех рассмотренных случаях), но и реактивные параметры этих резисторов (индуктивность, емкость), что приводит к появлению дополнительных погрешностей при проведении измерений. Указанные погрешности можно уменьшить, если вместо резисторов использовать обмотки трансформатора с тесной индуктивной связью (см. рис. 15.10 и 15.11). Тесная индуктивная связь обмоток достигается тем, что проводники обмоток свиваются в жгут, который наматывается на сердечник трансформатора, образуя секции обмоток *w3*, *w4* и *w5*. При равновесии моста справедливо соотношение

$$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 \cdot \frac{w_3}{w_4}. \qquad (15.55)$$

Если $\underline{Z}_1$ – измеряемое комплексное сопротивление, то мост уравновешивается регулировкой известного комплексного сопротивления $\underline{Z}_2$ и переключением секций обмоток w_3 и w_4. Условие равновесия трансформаторного измерительного моста, выражаемое формулой (15.55), обычно называется идеальным условием равновесия, т. к. в этом случае не учитываются потоки рассеяния обмоток и принимаются допущения об идеальной связи между ними и о пропорциональности потерь в проводах числу витков обмоток. На практике при реализации мостов этого типа всегда принимаются меры, позволяющие считать принятые допущения правомерными, а идеальное условие равновесия (15.55) справедливым.

Достоинством трансформаторных измерительных мостов является их практически постоянная чувствительность в широком диапазоне частот и сравнительно малая погрешность при проведении измерений.

Следует отметить широкие возможности при использовании трансформаторных мостовых схем для измерения неэлектрических величин электрическими методами (уровнемеры, влагомеры, измерительные преобразователи перемещений и т. п.).

Кроме рассмотренных четырехплечих мостов, известны также двойные и многоплечие трансформаторные мостовые измерительные схемы.

15.6. Выводы и рекомендации

Рассмотренные в данном параграфе учебного пособия мостовые измерительные схемы переменного тока позволяют решить самые разнообразные вопросы измерительной техники. Вместе с тем эти мостовые схемы требуют выполнения ряда обязательных условий при их использовании. В противном случае устройства начинают работать с большими погрешностями или становятся вообще неработоспособными. Сказанное в равной степени относится и к равновесным, и к неравновесным схемам. Последние используются сравнительно

редко, поэтому в учебном пособии основное внимание уделено равновесным мостовым схемам. Равновесие мостов переменного тока, как уже отмечалось в п. 15.1 пособия, возможно лишь при строгом соблюдении определенного характера сопротивлений в плечах мостовой схемы. Нарушение этих требований приводит к тому, что равновесие схем становится невозможным. Большое значение имеет влияние на равновесие схемы частоты питания. По влиянию частоты все мостовые схемы переменного тока делятся на схемы, равновесие которых не зависит от частоты питающего тока (частотно-независимые схемы), и схемы, равновесие которых зависит от частоты (частотно-зависимые схемы).

При измерении параметров электрических цепей частотная зависимость мостовой схемы приводит к дополнительным трудностям и дополнительным погрешностям. Поэтому все приведенные в учебном пособии мостовые схемы являются частотно-независимыми. Причем переход от одной схемы к другой (от частотно-независимой к частотно-зависимой) может произойти от переключения всего одного элемента одного из плеч схемы. Например, на рис. 15.5 приведена частотно-независимая схема. Однако стоит резистор R_4 (в четвертом плече схемы) подключить последовательно с конденсатором C_4 (а не параллельно конденсатору, как на рис. 15.5), и мостовая схема становится частотно-зависимой. Частотно-зависимые схемы тоже находят применение (например, для измерения частоты), но применения эти носят ограниченный характер и в данном учебном пособии не рассматриваются.

Таким образом, рассмотренные мостовые измерительные схемы могут проявить все свои возможности и достоинства лишь при соблюдении целого ряда условий, значительная часть которых изложена в настоящем учебном пособии и которые могут быть использованы как при изучении этого вопроса, так и при практическом использовании мостовых схем для измерения электрических и неэлектрических величин.

Дополнительные сведения по мостовым измерительным схемам можно найти в литературных источниках [1–3].

16. ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАВНОВЕСНЫХ МОСТОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СХЕМ

16.1. Двух- и трехпроводные схемы включения датчиков

Двухпроводная схема подключения резистивного датчика к равновесной мостовой измерительной схеме постоянного тока приведена на рис. 16.1.

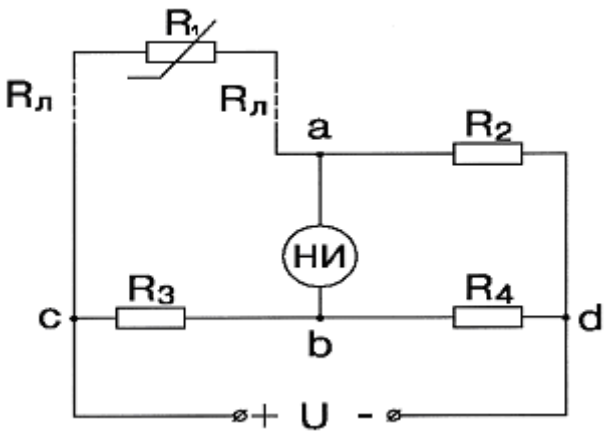


Рис. 16.1. Двухпроводная схема подключения датчиков:
R_1 – сопротивление датчика; $R_Л$ – сопротивление проводов,
составляющих двухпроводную линию связи датчика с мостовой схемой

Условие равновесия для рассматриваемого случая запишется в виде

$$\left(R_л + R_1 + R_л\right) \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3, \qquad (16.1)$$

где $\left(R_л + R_1 + R_л\right)$ – сопротивление первого плеча мостовой схемы (от точки c схемы, к которой подключено питание, до точки a схемы, к которой подключен нуль-индикатор НИ).

Легко заметить: изменение сопротивлений проводов соединительной линии $R_Л$ (за счет, например, повышения или понижения температуры окружающей среды) приведет к нарушению равенства (16.1), что является причиной возникновения дополнительной погрешности при проведении измерений с использованием двухпроводных схем подключения датчиков.

Трехпроводная схема подключения резистивного датчика к равновесной мостовой измерительной схеме постоянного тока приведена на рис. 16.2.

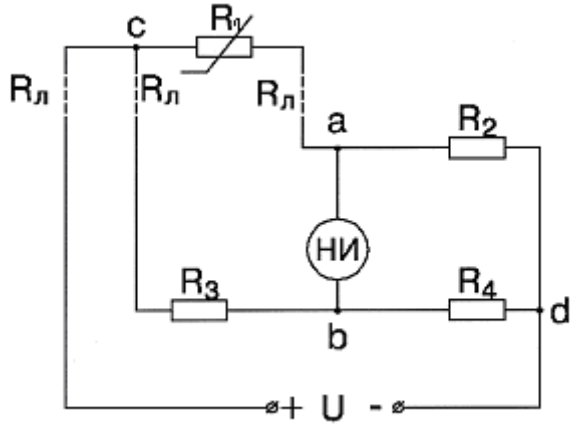


Рис. 16.2. Трехпроводная схема подключения датчиков (обозначения на рис. 16.2 аналогичны соответствующим обозначениям, принятым на рис. 16.1)

Условие равновесия для рассматриваемого случая запишется в виде

$$(R_1 + R_л)\cdot R_4 = R_2 \cdot (R_3 + R_л), \qquad (16.2)$$

где $(R_1 + R_л)$– сопротивление первого плеча мостовой схемы (от точки подключения питания (точка c) до точки подключения нуль-индикатора (точка a));

$R_1 + R_л$ – сопротивление третьего плеча мостовой схемы (от точки подключения питания (точка c) до точки подключения нуль-индикатора (точка b схемы)).

Сопротивления проводов соединительной линии $R_Л$ входят в левую и в правую части равенства (16.2). В результате изменение этих сопротивлений на одну и ту же величину (за счет, например, повышения или понижения температуры окружающей среды) не нарушает рассматриваемого равенства. Этот вывод правомерен при определенных соотношениях между сопротивлениями, образующими мостовую схему (например, при $R_2 = R_4$, $R_1 = R_3$, $R_л << R_1$, $R_л << R_3$). Таким образом, при использовании трехпроводной линии связи для подключения датчиков к равновесным мостовым схемам удается избежать дополнительных погрешностей при изменении сопротивлений подводящих проводов.

16.2. Автоматические мостовые схемы

На основе равновесных мостовых измерительных схем часто строятся автоматические устройства, используемые для измерения различных физических величин (например, температуры).

Упрощенная схема автоматического моста приведена на рис. 16.3.

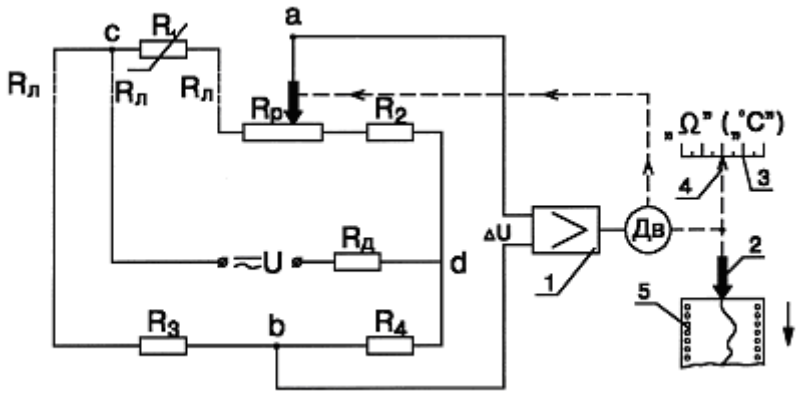


Рис. 16.3. Упрощенная принципиальная схема автоматического моста: R_1 – сопротивление датчика (например, реостатный датчик или терморезисторный датчик («термометр сопротивления»)); $R_Л$ – сопротивление проводов соединительной линии (использована трехпроводная схема подключения датчика); $R_Д$ – ограничительное сопротивление в цепи питания; $R_Р$ – сопротивление реохорда; R_2, R_3, R_4 – постоянные сопротивления; Дв – двигатель; 1 – усилитель; 2 – перо самописца; 3 – шкала; 4 – указатель (стрелка); 5 – диаграммная лента. Электрические цепи на схеме показаны сплошными линиями, а механические связи – пунктирными линиями

При использовании реостатного датчика прибор градуируется, как правило, в единицах сопротивления (Ом), а при использовании терморезисторного датчика – в единицах температуры ($°C$).

Питание мостовой схемы может осуществляться как постоянным током, так и переменным. Использование переменного тока не вызывает в данном случае каких–либо затруднений при уравновешивании схемы, т. к. в схеме нет реактивных элементов и все сопротивления чисто активные.

Если мост уравновешен, то напряжение между точками a и b (на измерительной диагонали моста) равно нулю и соответственно напряжение на входе усилителя 1 $\Delta U = U_{ab} = 0$. При изменении сопротивления датчика R_1 мостовая схема выходит из равновесия и на измерительной диагонали (между точками a и b) появляется напряжение ($\Delta U = U_{ab} \neq 0$). Это напряжение усиливается усилителем и подается на реверсивный двигатель Дв, который перемещает движок реохорда $R_Р$ в сторону достижения равновесия моста. Одновременно двигатель перемещает перо самописца 2 и указатель (стрелку) 3. Ротор двигателя вращается до тех пор, пока не будет достигнуто равновесие рассматриваемой мосто-

вой схемы. Если автоматический мост предназначен для регулирования, то тем же двигателем приводятся в действие регулирующие устройства.

Промышленность выпускает различные типы автоматических мостов, различающихся габаритами, числом измеряемых величин и другими характеристиками. Так, например, запись измеряемых величин может производиться на диаграммную линейку в прямоугольной системе координат (как показано на рис. 16.3) или на дисковую диаграмму в полярной системе координат. Отметим, что в том и другом случае диаграммная бумага перемещается равномерно специальным синхронным двигателем (линейно или по кругу). Соответственно шкала 3 может быть линейной или круговой. Прямоугольно-координатные автоматические мосты имеют обозначения: ЭМП (старое обозначение), КСМ2, КСМ4 (новое обозначение) и т. д. Автоматические мосты с дисковыми диаграммами и круговыми шкалами обозначаются: ЭМД (старое обозначение) и КСМ3. Указанные обозначения получили наибольшее распространение, но есть автоматические мосты с другими обозначениями их типов.

Основная приведенная относительная погрешность автоматических мостов от ±0,25 до ±1 %.Наиболее часто встречаются автоматические мосты с относительной погрешностью ±0,5 %. Быстродействие автоматических мостов изменяется в широких пределах и зависит от исполнения и типа прибора. Время прохождения указателем шкалы составляет от 1 с до 10–20 с. В широких пределах изменяется также скорость перемещения диаграммной бумаги (как ленточной, так и дисковой), что позволяет фиксировать и быстро, и медленно изменяющиеся величины.

17. АНАЛОГОВЫЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

17.1. Общие положения

Аналоговые электромеханические измерительные приборы непосредственной оценки (в дальнейшем – «измерительные приборы») состоят из измерительной цепи (ИЦ), измерительного механизма (ИМ) и отсчетного устройства (ОУ) (рис. 17.1).

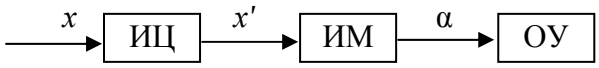


Рис. 17.1. Структурная схема аналоговых электромеханических измерительных приборов непосредственной оценки

Измерительная цепь (ИЦ) служит для преобразования измеряемой электрической величины x в электрическую же величину x', удобную для измерения и непосредственного воздействия на измерительный механизм.

Измерительный механизм (ИМ) преобразует электрическую величину x' в механическое перемещение α (угловое или линейное).

Отсчетное устройство (ОУ) служит для визуального отсчитывания значений измеряемой величины.

ИЦ содержит обычно резисторы (или другие элементы), необходимые для требуемого преобразования измеряемой величины.

ИМ состоит из подвижной и неподвижной частей. В зависимости от принципа построения различают измерительные механизмы магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, электростатические, индукционные, ферродинамические, вибрационные.

ОУ состоит из указателя (стрелочного или светового), связанного с подвижной частью измерительного механизма, и неподвижной шкалы. На шкалу наносятся деления в единицах измеряемой величины. Кроме того, на шкалу наносятся условные обозначения класса точности прибора, рода измеряемого тока, знака системы, рабочего положения прибора (например, вертикального или горизонтального), испытательного напряжения и т. д.

Условные обозначения, наносимые на шкалы и корпуса приборов, приведены в приложениях.

Ниже рассмотрены приборы наиболее распространенных систем. При рассмотрении приборов основное внимание уделено измерительным механизмам и несколько меньшее внимание – другим составным частям приборов (измерительным цепям и отсчетным устройствам).

Более детально затронутые вопросы рассмотрены в литературных источниках [1; 2; 5; 8; 35; 36].

17.2. Магнитоэлектрические приборы

Приборы магнитоэлектрической системы основаны на использовании взаимодействия поля постоянного магнита и катушки (рамки), обтекаемой электрическим током. Конструктивно магнитоэлектрические приборы могут быть выполнены с подвижной рамкой и с подвижным магнитом. Наибольшее распространение получили приборы с подвижной рамкой и внешним постоянным магнитом. Устройство такого прибора схематически показано на рис. 17.2.

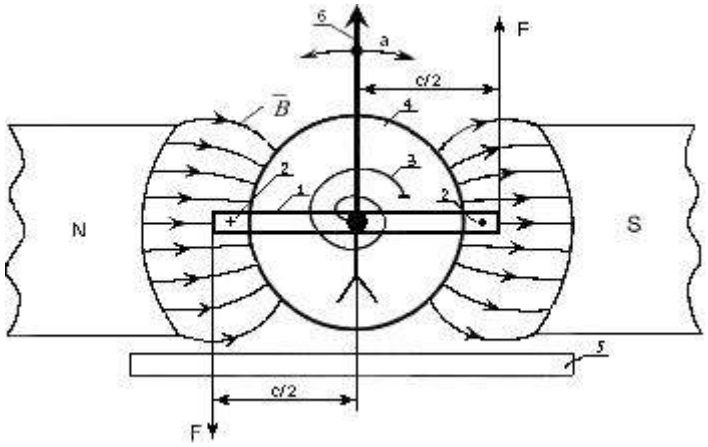


Рис. 17.2. Схема магнитоэлектрического прибора с подвижной рамкой:

1– рамка;	(+•) – направление тока в обмотках рамки;
2 – обмотка рамки;	(*F*–*F*) – пара сил, действующих на рамку;
3 – спиральная пружина;	(*N*–*S*) – полюсные наконечники постоянного магнита;
4 – ферромагнитный сердечник;	α – угол поворота подвижной части;
5 – магнитный шунт;	$\overline{B}$ – магнитная индукция;
6 – стрелка;	c/2 – половина ширины рамки

Постоянный магнит с магнитопроводом и полюсными наконечниками (на рис. 17.2 изображены только полюсные наконечники *N*–*S*) создает в воздушном зазоре магнитное поле с индукцией $\overline{B}$. Благодаря цилиндрическому сердечнику 4 индукция в воздушном зазоре радиальная и равномерная за исключением поля на краях полюсных наконечников («краевой эффект»). На рис. 17.2 краевой эффект (для наглядности) несколько преувеличен. В достоверности искажение магнитного поля на краях полюсных наконечников меньше показанного на

схеме. Магнитный шунт 5 служит для регулировки значения магнитной индукции в некоторых пределах (от 5 до 10 %), что позволяет изменять пределы измерения прибора. Магнитопровод, полюсные наконечники и магнитный шунт изготовляются из магнитомягкого материала.

Стрелка 6 жестко связана с рамкой 1. Спиральная пружина 3 служит для создания момента, противодействующего повороту рамки и стрелки. На рис. 17.2 показана одна спиральная пружина. В реальных приборах спиральных пружин две (или несколько), и они служат не только для создания противодействующего момента, но и для токоподвода к обмотке рамки. Рамка имеет прямоугольную форму. Ширина рамки – «*c*», ее длина – «*b*». При протекании по обмотке рамки постоянного тока *I* происходит его взаимодействие с магнитным полем и возникает пара сил «*F*–*F*», стремящихся повернуть рамку. Направление действия сил определяется правилом левой руки. Оно зависит от направления индукции магнитного поля и направления тока (направление индукции показано на рис. 17.2 стрелками, направление тока «от нас» показано знаком «+», направление тока «к нам» показано знаком «•». Значение каждой из сил *F* определяется соотношением

$$F = B \cdot I \cdot w \qquad (17.1)$$

где *w* – число витков обмотки рамки.

Каждая из сил *F* действует на плече «c/2». Вместе силы «*F*–*F*» создают вращающий момент:

$$-M_{\text{вр.}} = F\frac{c}{2} + F\frac{c}{2} = F \cdot c \qquad (17.2)$$

где *c* – ширина рамки.

Вращающий момент уравновешивается противодействующим моментом $M_{\text{пр}}$:

$$-M_{\text{пр.}} = D \cdot \alpha \qquad (17.3)$$

где *D* – удельный противодействующий момент;

α – угол поворота подвижной части прибора.

В момент считывания показаний $M_{\text{вр}} = M_{\text{пр}}$, т. е. можно записать:

$$F \cdot c = D \cdot \alpha \qquad (17.4)$$

$$B \cdot w \cdot b \cdot c \cdot I = D \cdot \alpha \qquad (17.5)$$

Решая уравнение (17.5) относительно α, получаем

$$\alpha = \frac{1}{D} \cdot B \cdot w \cdot b \cdot c \cdot I , \qquad (17.6)$$

$$k_1 = \frac{B \cdot w \cdot b \cdot c}{D} , \qquad (17.7)$$

$$\alpha = k \cdot I \qquad (17.8)$$

Полученное выражение (17.8) носит название *«уравнение шкалы»*. Согласно уравнению шкалы угол отклонения подвижной части приборов магнитоэлектрической системы пропорционален току, протекающему по обмотке рамки. Коэффициент пропорциональности k_1 (см. (17.7)) называется *чувствительностью по току*.

Значение k_1 является величиной постоянной, зависящей от конструктивных параметров измерительного механизма и не зависящей от измеряемого тока I. Поэтому шкалы магнитоэлектрических приборов равномерны. Изменение направления тока ведет к изменению направления угла отклонения подвижной части прибора.

Приборы магнитоэлектрической системы могут использоваться как для измерения постоянных токов, так и для измерения постоянных напряжений. При измерении постоянного напряжения уравнение шкалы (см. (17.8)) принимает вид

$$\alpha = k_2 \cdot U , \qquad (17.8а)$$

где k_2 – постоянный коэффициент, характеризующий чувствительность по напряжению;

U – измеряемое напряжение.

При измерении постоянных токов и напряжений рассматриваемые магнитоэлектрические приборы являются самыми чувствительными и точными среди электромеханических приборов. Температура окружающей среды и внешние магнитные поля мало влияют на их работу. Равномерный характер шкалы и

малое потребление энергии также являются достоинствами этих приборов. Магнитоэлектрические приборы реагируют только на постоянную составляющую измеряемого тока или напряжения. Для измерений в цепях переменного тока требуется предварительное преобразование переменных величин в постоянные. К недостаткам этих приборов следует отнести их малую перегрузочную способность (сгорают токоподводы). Знак приборов магнитоэлектрической системы, наносимой на шкалу, приведен в прил. 4.

На основе магнитоэлектрических механизмов строятся приборы для измерения постоянных токов (амперметры), постоянных напряжений (вольтметры), электрических сопротивлений (омметры), малых токов и напряжений (гальванометры), количества электричества (баллистические гальванометры) и т. п.

Дополнительные сведения по затронутым вопросам приведены в литературе [1; 2; 5; 8; 35].

17.3. Электромагнитные приборы

Приборы электромагнитной системы основаны на взаимодействии магнитного поля, создаваемого током в неподвижной катушке, с подвижным ферромагнитным сердечником. В настоящее время находят применение электромагнитные механизмы с плоской катушкой и механизмы с круглой катушкой.

Схема, поясняющая принцип работы приборов электромагнитной системы, приведена на рис. 17.3.

При протекании тока I по катушке 1 создается магнитное поле, под действием которого сердечник 2 втягивается внутрь катушки. Благодаря тому, что сердечник выполнен из магнитомягкого материала, он втягивается в катушку независимо от направления тока (и соответственно независимо от полярности приложенного к катушке напряжения U). С сердечником 2 жестко связаны пружина 3 и стрелка (указатель) 4.

Пружина создает противодействующий момент, а стрелка позволяет проводить отсчет показаний по шкале 5.

Для быстрейшего «успокоения» подвижной части прибора используются специальные успокоители (обычно воздушные). Успокоители на рис. 17.3 не

показаны. Возможные конструкции успокоителей приведены, например, в [1; 2]. Рассмотренные ранее магнитоэлектрические приборы в специальных успокоителях не нуждались. Необходимое «успокоение» подвижной части этих приборов достигалось за счет взаимодействия вихревых токов, наводимых в рамке устройства, с магнитным полем.

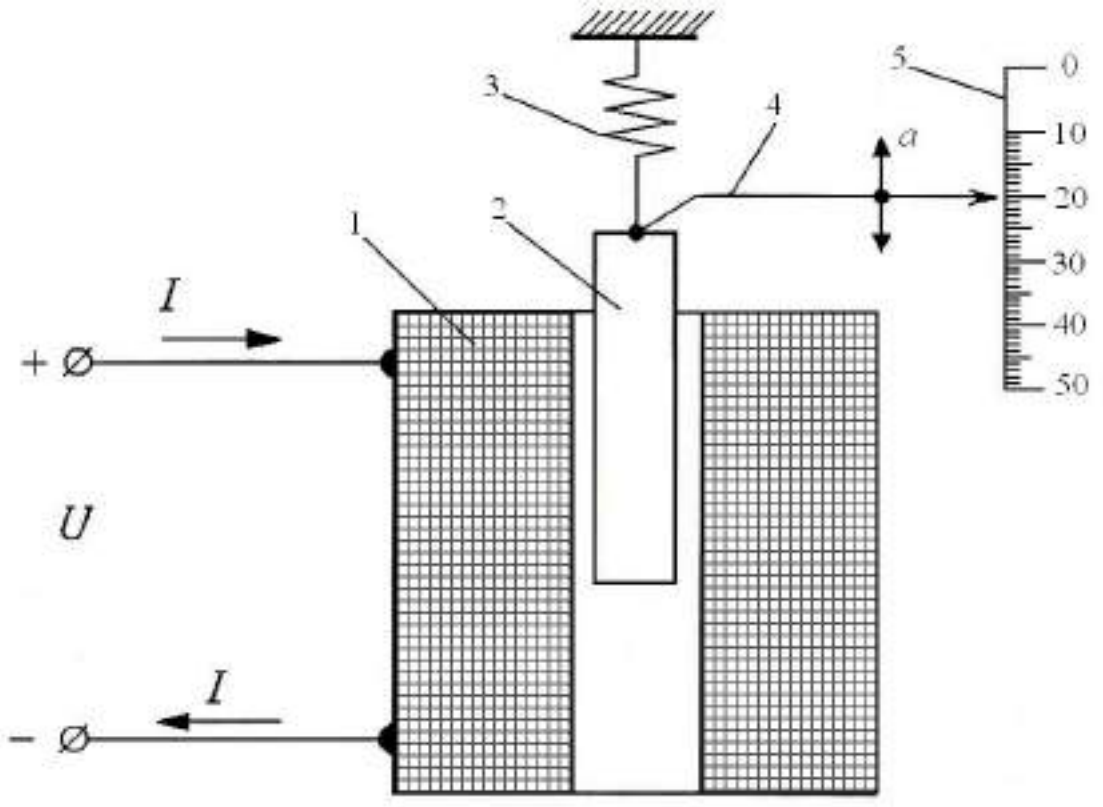


Рис. 17.3 Схема прибора электромагнитной системы:
1 – катушка с числом витков w и индуктивностью L; 2 – ферромагнитный сердечник (из магнитомягкого материала); 3 – пружина (с удельным противодействующим моментом D); 4 – стрелка; 5 – шкала

Положение подвижной части прибора электромагнитной системы в установившемся режиме можно определить из условия равенства вращающего и противодействующего моментов.

Согласно законам механики выражение для «вращающего» момента имеет вид

$$M = \frac{dW}{dx}, \qquad (17.9)$$

где M – «вращающий» момент, перемещающий подвижную часть устройства;

W – электрокинетическая энергия;

x – координата подвижной части устройства.

Для приборов электромагнитной системы:

$$W = W_{\text{М}} = \frac{1}{2} I^2 \cdot L, \tag{17.10}$$

где $W_{\text{М}}$ – энергия магнитного поля катушки

I – ток через катушку;

L – индуктивность катушки.

$$M = \frac{dW_{\text{М}}}{d\alpha} = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha}, \tag{17.11}$$

где α – перемещение подвижной части прибора.

$$M_{\text{пр}} = D \cdot \alpha, \tag{17.12}$$

где $M_{\text{пр}}$ – противодействующий момент (создается пружиной);

D – удельный противодействующий момент.

При установившемся положении механизма $M = M_{\text{пр}}$, т. е.:

$$\frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{d\alpha} = D \cdot \alpha, \tag{17.13}$$

$$\alpha = \frac{1}{2D} \cdot I^2 \frac{dL}{d\alpha} \tag{17.14}$$

Выражение (17.14) носит название *«уравнение шкалы»* (или *«уравнение преобразования»*) приборов электромагнитной системы на постоянном токе.

Рассмотрим работу приборов на переменном токе.

$$i(t) = I_{\text{m}} \cdot \sin \omega t, \tag{17.15}$$

$$\text{I} = \sqrt{\frac{1}{\text{T}} \int_0^T [i(t)]^2 dt}, \tag{17.16}$$

где $i(t)$ – мгновенное значение переменного тока;

I_{m} – амплитудное значение переменного тока;

I – действующее значение переменного тока;

T– период переменного тока, протекающего по катушке прибора.

Мгновенное $m(t)$ и среднее $M_{\text{ср}}$ значения вращающего момента запишутся в виде

$$m(t) = \frac{1}{2}[i(t)]^2 \frac{dL}{d\alpha}, \qquad (17.17)$$

$$M = \frac{1}{T}\int_T^1 m(t)dx. \qquad (17.18)$$

Подставляя в (17.18) значение $m(t)$, получаем

$$M_{\text{ср}} = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{1}{2}[i(t)]^2 \frac{dL}{d\alpha} dt = \frac{1}{2} \cdot \frac{dL}{d\alpha} \cdot \frac{1}{T}\int_0^T [i(t)]^2 dt \quad . \qquad (17.19)$$

Среднее значение вращающего момента (на которое реагирует прибор) с учетом (17.16) принимает вид

$$M_{\text{ср}} = \frac{1}{2} \cdot I^2 \frac{dL}{d\alpha} \quad . \qquad (17.20)$$

Учитывая, что в установившемся режиме $M_{\text{ср}} = M_{\text{пр}}$, можно записать:

$$\frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot \frac{dL}{d\alpha} = D \cdot \alpha \quad . \qquad (17.21)$$

Решая (17.21) относительно α, окончательно получим

$$\alpha = \frac{1}{2D} \cdot I^2 \cdot \frac{dL}{d\alpha}, \qquad (17.22)$$

где I – действующее значение переменного тока.

Выражение (17.22) носит название *«уравнение шкалы»* (или *«уравнение преобразования»*) приборов электромагнитной системы на переменном токе.

Полученные соотношения (17.14) и (17.22) позволяют сделать вывод о нелинейности шкалы рассматриваемых приборов. Начало и конец шкалы сжаты (особенно начало). В результате до 10 % шкалы в ее начале вообще не используется. Середина шкалы имеет благоприятный равномерный характер.

На основе электромагнитных механизмов строятся приборы для измерения постоянных и переменных токов (амперметры), постоянных и переменных напряжений (вольтметры) и резонансные (вибрационные) частотомеры.

К достоинствам приборов электромагнитной системы относят: простоту конструкции, низкую стоимость, надежность, способность выдерживать боль-

шие перегрузки и универсальность (возможность использования в цепях постоянного и переменного тока).

К недостаткам этих приборов следует отнести: большое собственное потребление энергии, сравнительно малые чувствительность и точность, сильное влияние внешних магнитных полей. Последнее обстоятельство вынуждает применять специальные методы защиты (магнитные экраны и астазирование).

Приборы электромагнитной системы применяют обычно как щитовые амперметры и вольтметры переменного тока промышленной частоты (с классами точности 1,5 и 2,5). В отдельных случаях они используются на повышенных частотах (до нескольких сотен и даже тысяч герц). Эти приборы могут также использоваться как лабораторные переносные приборы классов точности 0,5 и 1,0.

Знак приборов электромагнитной системы, наносимый на шкалу, приведен в прил. 4. Приборы описаны в литературе [1; 2; 5; 8; 35].

17.4. Электродинамические приборы

Приборы электродинамической системы основаны на взаимодействии магнитных полей двух неподвижных и одной подвижной катушек, по которым протекает ток.

Схема, поясняющая принцип работы приборов электродинамической системы, приведена на рис. 17.4.

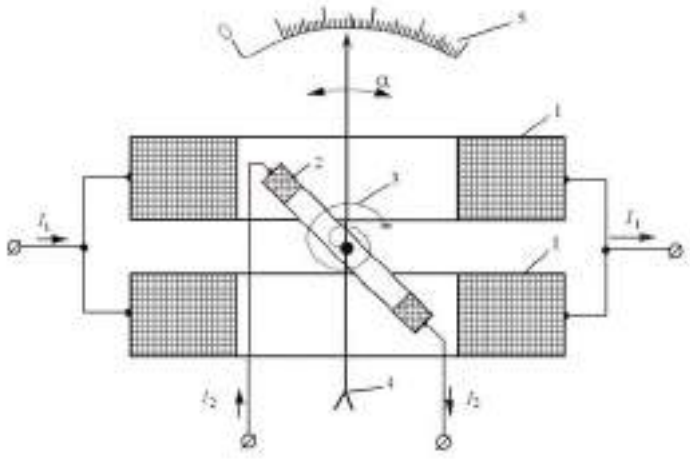


Рис. 17.4. Схема приборов электродинамической системы:
1 – неподвижные катушки; 2 – подвижная катушка; 3 – спиральная пружина;
4 – стрелка; 5– шкала; α – угол поворота подвижной части прибора

По неподвижным катушкам 1 протекает ток I_1. По подвижной катушке 2 протекает ток I_2. Стрелка 4 жестко связана с подвижной катушкой 2. Спиральная пружина 3 (с удельным противодействующим моментом D) создает противодействующий момент. На рис. 17.3 показана одна спиральная пружина. В реальных устройствах используются обычно две пружины (известны также конструкции, в которых используется несколько спиральных пружин). Пружины 3 одновременно могут быть токоподводами к подвижной катушке 2. Чаще подключение подвижной катушки к внешней цепи осуществляется с использованием специальных безмоментных токоподводов. Неподвижные катушки 1 имеют суммарную индуктивность L_1. Индуктивность подвижной катушки – L_2. Взаимная индуктивность между неподвижными и подвижной катушками – M. Для сокращения времени колебаний подвижной катушки используются специальные, обычно воздушные, успокоители (на рис. 17.4 они не показаны).

Энергия магнитного поля катушек с токами I_1 и I_2 запишется следующим образом:

$$W_M = \frac{1}{2} I_1^2 \cdot L_1 + \frac{1}{2} I_2^2 \cdot L_2 + I_1 I_2 M \,, \qquad (17.23)$$

где I_1, I_2, L_1, L_2, M – определены выше.

Поскольку индуктивности L_1 и L_2 не зависят от угла поворота подвижной части прибора α, то вращающий момент $M_{вр}$ запишется в виде

$$M = \frac{dW_M}{d\alpha} = I_1 I_2 \frac{dM}{d\alpha} \,. \qquad (17.24)$$

Противодействующий момент, создаваемый спиральной пружиной с удельным противодействующим моментом D, определяется соотношением

$$M_{пр} = D \cdot \alpha \,, \qquad (17.25)$$

где $M_{пр}$ – противодействующий момент;

α – угол поворота подвижной части прибора.

В установившемся режиме $M_{вр} = M_{пр}$, т. е.

$$I_1 I_2 \frac{dM}{d\alpha} = D \cdot \alpha \,, \qquad (17.26)$$

$$\alpha = \frac{1}{D} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \frac{dM}{d\alpha} \quad . \tag{17.27}$$

Полученное выражение (17.27) носит название *«уравнение шкалы»* (или *«уравнение преобразования»*) приборов электродинамической системы на постоянном токе.

Рассмотрим работу приборов на переменном токе:

$$i_1 = I_{1m} \sin \omega t \quad , \tag{17.28}$$

$$i_2 = I_{2m} \sin(\omega t - \varphi) \quad , \tag{17.29}$$

где i_1, i_2 – мгновенные значения токов;

I_{1m}, I_{2m} – амплитудные значения токов;

φ – фазовый сдвиг между токами i_1 и i_2.

Мгновенное значение вращающего момента:

$$m(t) = i_1(t) \cdot i_2(t) \cdot \frac{dM}{d\alpha} \quad . \tag{17.30}$$

Среднее значение вращающего момента, на которое реагирует прибор:

$$M_{ср} = \frac{1}{T} \int_0^T m(t) dt \, . \tag{17.31}$$

Подставляя в (17.31) значение величины $m(t)$, определяемое соотношением (17.30), получим

$$M_{ср} = \frac{1}{T} \int_0^T I_{1m} \sin \omega t \cdot I_{2m} \sin(\omega t - \varphi) \frac{dM}{d\alpha} \, , \tag{17.32}$$

$$M_{ср} = I_1 \cdot I_2 \cos\varphi \frac{dM}{d\alpha} \, , \tag{17.33}$$

где I_1, I_2 – действующие значения токов.

Приравняв значение $M_{ср}$ значению противодействующего момента $M_{пр}$, определяемого соотношением (17.25), и решив полученное равенство относительно угла поворота α, получим

$$\alpha = \frac{1}{D} I_1 I_2 \cos\varphi \frac{dM}{d\alpha} \quad . \tag{17.34}$$

Полученное выражение (17.34) свидетельствует, что перемещение подвижной части рассматриваемого измерительного механизма зависит не только от токов в его катушках, но и от разности фаз между этими токами. Последнее позволяет использовать приборы электродинамической системы в качестве ваттметров (кроме использования в качестве амперметров и вольтметров).

Выражение (17.34) обычно называют *уравнением шкалы* (или *уравнением преобразования*) приборов электродинамической системы на переменном токе.

К достоинствам приборов электродинамической системы следует отнести их универсальность (т. е. возможность использовать их в цепях как постоянного, так и переменного тока) и высокую точность (эти приборы самые точные на переменном токе среди электромеханических приборов).

Недостатки приборов электродинамической системы: нелинейность шкалы (шкала сжата в начале, растянута в середине и в конце; из-за нелинейности до 5–8 % шкалы в начале не градуируется и вообще не используется); малая надежность (при перегрузках сгорают токоподводы к подвижной катушке); значительное влияние на показания приборов магнитных полей (для защиты используются магнитные экраны и астазирование); частотные погрешности при измерениях на переменном токе, а также некоторые другие.

Знак приборов электродинамической системы, наносимый на шкалу, приведен в прил. 4.

Более детально с приборами электродинамической системы можно ознакомиться по литературным источникам [1; 2; 5; 8; 35].

17.5. Электростатические приборы

Приборы электростатической системы основаны на взаимодействии электрически заряженных проводников.

Схема, поясняющая принцип работы приборов электростатической системы, приведена на рис. 17.5.

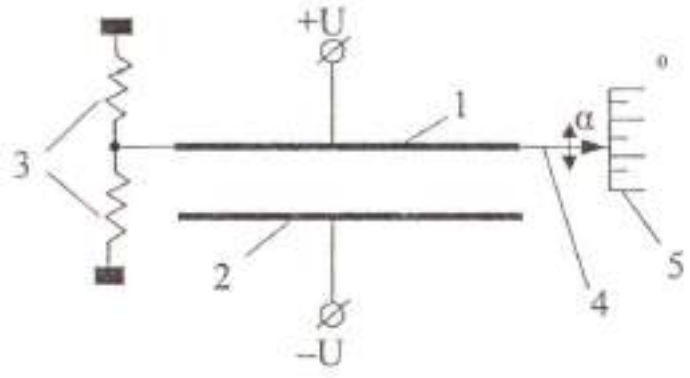


Рис. 17.5. Схема приборов электростатической системы:
1 – подвижная пластина; 2 – неподвижная пластина; 3 – пружины; 4 – стрелка; 5 – шкала

Подвижная пластина 1 жестко связана со стрелкой 4 и пружинами 3, создающими противодействующий момент. К пластинам 1 и 2 подводится измеряемое напряжение. Под действием электростатических сил подвижная пластина перемещается на величину α. Движение прекращается, когда противодействующий момент пружин становится равным вращающему моменту.

Энергия электростатического поля имеет следующее значение:

$$W_э = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2, \tag{17.35}$$

где C – емкость между подвижной и неподвижной пластинами;

U – измеряемое напряжение.

«Вращающий» момент, перемещающий подвижную часть устройства:

$$M = \frac{dW_э}{d\alpha} = \frac{1}{2} U^2 \frac{dC}{d\alpha}. \tag{17.36}$$

Противодействующий момент:

$$M_{пр} = D \cdot \alpha, \tag{17.37}$$

где D – удельный противодействующий момент;

α – перемещение подвижной пластины.

При равновесии $M = M_{пр}$, т. е.

$$D \cdot \alpha = \frac{1}{2} U^2 \frac{dC}{d\alpha}. \tag{17.38}$$

Решая (17.38) относительно α, получаем

$$\alpha = \frac{1}{2D} U^2 \frac{dC}{d\alpha} . \qquad (17.39)$$

В случае переменного напряжения следует произвести усреднение показаний во времени:

$$\alpha = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2D} \cdot u^2(t) \cdot \frac{dC}{d\alpha} dt ,$$

$$\alpha = \frac{1}{2D} \cdot \frac{dC}{d\alpha} \int_0^T u^2(t) dt ,$$

$$\alpha = \frac{1}{2D} \cdot \frac{dC}{d\alpha} \cdot U^2 , \qquad (17.40)$$

где $u(t)$ – мгновенное значение измеряемого переменного напряжения;

U – действующее значение измеряемого переменного напряжения;

T – период времени, за который производится усреднение.

Выражение (17.39) является уравнением шкалы при измерении постоянного напряжения, а выражение (17.40) – при измерении переменного напряжения. Приборы электростатической системы пригодны для измерения только электрических напряжений.

К достоинствам приборов электростатической системы относятся: их универсальность (т. е. способность измерять постоянные и переменные напряжения), широкий частотный диапазон, малое потребление энергии, высокая надежность, независимость показаний от внешних магнитных полей.

К недостаткам следует отнести нелинейность шкалы (из-за нелинейности около 5 % шкалы в ее начале вообще не используется), низкую чувствительность, сравнительно невысокую точность, зависимость показаний от внешних электрических полей.

Знак приборов электростатической системы, наносимый на шкалу, приведен в прил. 4.

Более подробно с приборами электростатической системы можно ознакомиться по литературным источникам [1; 2; 5; 8; 35].

17.6. Индукционные приборы

Индукционные приборы состоят из индукционного измерительного механизма, отсчетного устройства и элементов измерительной схемы.

Индукционный измерительный механизм основан на взаимодействии магнитных потоков электромагнитов и вихревых токов, наведенных магнитными потоками в подвижной части, выполненной в виде алюминиевого диска.

Индукционные измерительные механизмы по устройству делятся на несколько типов, основные из которых – однопоточные и многопоточные.

Однопоточные измерительные механизмы имеют один электромагнит и подвижную часть в виде диска, асимметрично расположенного на оси. Такие механизмы просты по устройству, но в настоящее время не применяются из-за малой величины вращающего момента.

В многопоточных механизмах на подвижную часть действуют два или более переменных потоков, не совпадающих по фазе и в пространстве. Эти потоки образуют вращающееся или бегущее магнитное поле, пересекающее подвижную часть механизма. От взаимодействия индуктируемых при этом в подвижной части вихревых токов с магнитным полем возникает вращающий момент, перемещающий подвижную часть механизма.

Индукционные приборы используются только на переменном токе. Они могут применяться как амперметры, вольтметры, ваттметры и счетчики электрической энергии. В настоящее время нашли широкое применение именно счетчики электроэнергии.

Устройство и схема включения индукционного счетчика показаны на рис. 17.6.

Для индукционного счетчика вращающий момент $M_{\text{вр}}$ пропорционален мощности переменного тока, т. е.

$$M_{\text{вр}} = kUI\cos(\varphi), \qquad (17.41)$$

где k – постоянный коэффициент;

U – напряжение;

φ – сдвиг по фазе между напряжением и током.

На подвижную часть счетчика (алюминиевый диск) действует противодействующий момент $M_{\text{пр}}$, пропорциональный скорости (частоте) вращения диска. Этот момент создается за счет взаимодействия магнитного поля постоянного магнита 4 и вихревых токов, наводимых в диске 3.

$$M_{\text{ПР}} = k_1 \cdot \frac{d\alpha}{dt} = k_1 \cdot \nu \,, \tag{17.42}$$

где k_1 – постоянный коэффициент;

$\frac{d\alpha}{dt} = \nu$ – скорость (частота) вращения диска.

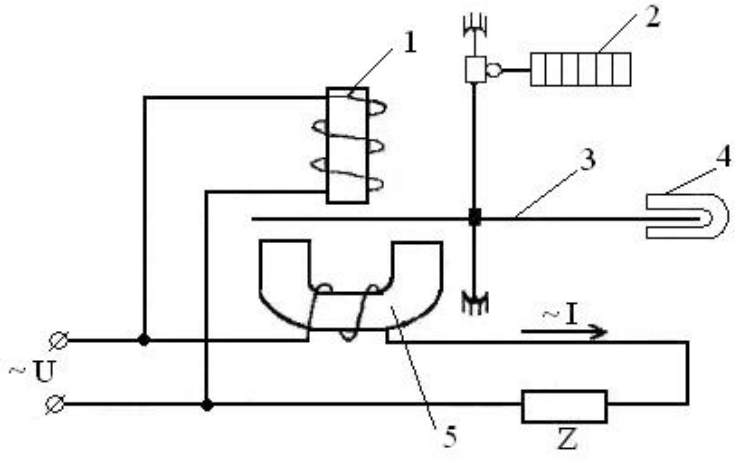


Рис. 17.6. Устройство и схема включения индукционного счетчика:
1 – трехстержневой магнитопровод с обмоткой напряжения; 2 – счетный механизм;
3 – алюминиевый диск, укрепленный на оси; 4 – постоянный магнит для создания тормозного момента; 5 – П-образный магнитопровод с токовой обмоткой; Z – полное сопротивление нагрузки

Если допустить, что момент трения отсутствует, то для установившейся скорости (частоты) вращения момент $M_{\text{вр}}$ равен тормозному моменту $M_{\text{ПР}}$:

$$k \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi = k_1 \cdot \nu \,. \tag{17.43}$$

Интегрируя правую и левую части равенства (17.43) в пределах изменения времени от t_1 до t_2, получим

$$W = C \cdot N \,, \tag{17.44}$$

где W – энергия, «прошедшая» через нагрузку Z за время $\Delta = t_2 - t_1$,

$W = \int_{t_1}^{t_2} UI \cdot \cos\varphi \cdot dt$;

C – постоянный коэффициент ($C = \frac{k_1}{k \cdot k_2}$);

N – число оборотов диска за время $\Delta t = t_2 - t_1 (N = k_2 \cdot \int_{t_1}^{t_2} v \cdot dt)$.

Отсчет энергии производится по показаниям счетного механизма – счетчика оборотов, проградуированного в единицах энергии. Единице электрической энергии (обычно 1 кВт/ч), регистрируемой счетным механизмом, соответствует определенное число оборотов подвижной части счетчика. Это соотношение указывается на приборе. Выпускаемые счетчики активной энергии имеют следующие классы точности: 0,5; 1,0; 2,0; 2,5; счетчики реактивной энергии – 1,5; 2,0; 4,0. Выпускаются однофазные и трехфазные счетчики активной и реактивной энергии. Дополнительные погрешности счетчиков возникают из-за искажения формы кривой тока и напряжения, колебаний напряжения и частоты, резкого перепада мощности и некоторых других факторов. К достоинству счетчиков следует отнести малое влияние на их показания температуры и внешних магнитных полей.

Знак приборов индукционной системы приведен в прил. 4.

Более подробно с приборами индукционной системы можно ознакомиться по литературным источникам [1; 8].

17.7. Логометры

К логометрам относятся электроизмерительные приборы с электрическим противодействующим моментом. Показания таких приборов пропорциональны отношению электрических величин (обычно – отношению электрических токов). Используются логометры следующих систем: магнитоэлектрические с подвижными рамками, магнитоэлектрические с подвижными магнитами, элек-

тромагнитные, электродинамические, ферродинамические, индукционные. Условные обозначения логометров приведены в приложении в табл. П. 4.1.

В настоящем учебном пособии рассматриваются магнитоэлектрические логометры с подвижными рамками (рис. 17.7).

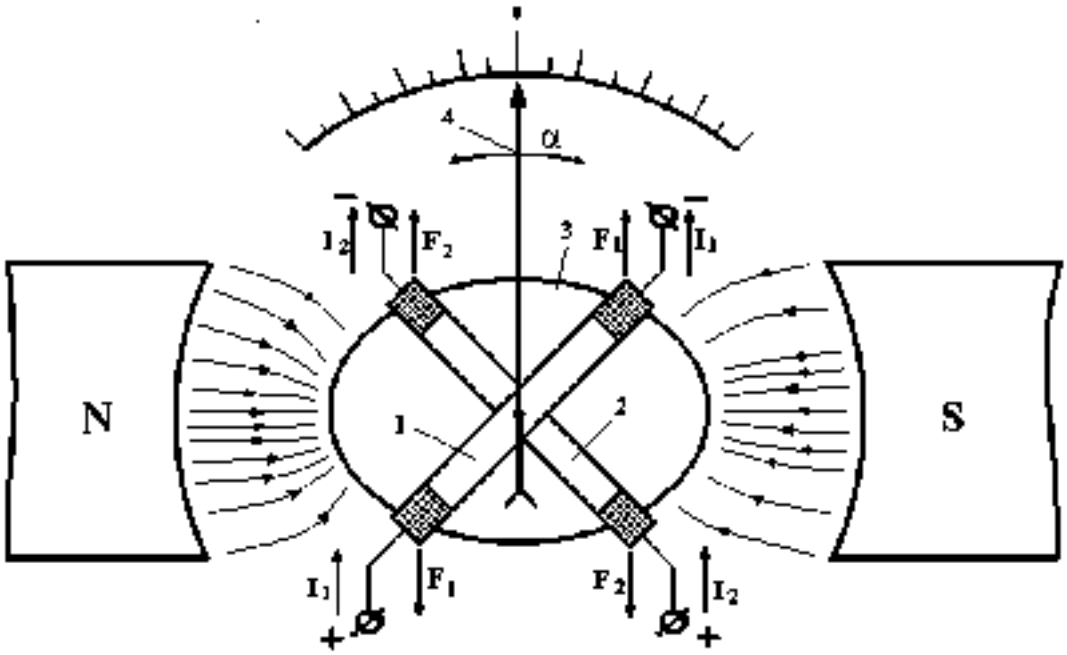


Рис. 17.7. Схема логометра магнитоэлектрической системы с подвижными рамками:
1 – первая рамка; 2 – вторая рамка; 3 – эллиптический ферромагнитный сердечник;
4 – стрелка (указатель); α – угол поворота; *N*–*S* – полюсные наконечники постоянного магнита

Рамки 1 и 2 жестко скреплены друг с другом и со стрелкой, которая перемещается вдоль проградуированной шкалы. По обмотке первой рамки протекает ток l_1. По обмотке второй рамки протекает ток l_2. К внешним цепям обмотки рамок подключаются с помощью безмоментных токоподводов (на схеме токоподводы не показаны). Создаваемое постоянным магнитом магнитное поле в воздушном зазоре прибора неравномерно благодаря эллиптическому ферромагнитному сердечнику: в центральной части системы индукция магнитного поля больше, а на периферии – меньше.

При взаимодействии тока l_1, протекающего по обмотке первой рамки, и магнитного поля возникает пара сил F_1–F_1. Пара сил F_1–F_1 создает вращающий момент M_1, который стремится повернуть рамки и указатель против часовой стрелки.

$$\mathrm{M}_1 = I_1 \cdot f_1(\alpha)\,, \qquad (17.45)$$

где l_1 – ток в обмотке первой рамки;

α – угол поворота подвижной части прибора.

При взаимодействии тока l_2, протекающего по второй обмотке, и магнитного поля возникает пара сил F_2–F_2, создающих вращающий момент M_2. Вращающий момент M_2 стремится повернуть рамки и указатель по часовой стрелке.

$$M_2 = I_2 \cdot f_2(\alpha), \tag{17.46}$$

где I_2 – ток в обмотке второй рамки.

Отметим, что из-за неравномерности магнитного поля вращающие моменты M_1 и M_2 возрастают при перемещении рамок с обмотками к центру и, наоборот, уменьшаются при перемещении рамок с обмотками к периферии.

При равенстве вращающих моментов M_1 и M_2 движение рамок и стрелки (указателя) прекращается. В этом случае:

$$I_1 \cdot f_1(\alpha) = I_2 \cdot f_2(\alpha), \tag{17.47}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{f_2(\alpha)}{f_1(\alpha)} = f_3(\alpha). \tag{17.48}$$

Решая уравнение (17.48) относительно угла поворота α, получаем

$$\alpha = F\left(\frac{I_1}{I_2}\right). \tag{17.49}$$

Полученное выражение (17.49) носит название уравнения шкалы логометров магнитоэлектрической системы с подвижными рамками.

Уравнение шкалы свидетельствует, что показания магнитоэлектрических логометров пропорциональны отношению токов, протекающих по обмоткам рамок прибора.

Более детально логометры описаны в литературных источниках [1; 2; 8].

18. ПРИБОРЫ СРАВНЕНИЯ

18.1. Общие положения

Приборами сравнения (а также компенсаторами или потенциометрами) называют приборы для измерения методом сравнения напряжения, ЭДС или величин, связанных с ними определенной зависимостью. Существуют компенсаторы постоянного и переменного тока. Те и другие компенсаторы могут быть автоматическими и с ручным управлением.

Как известно, напряжение и ЭДС могут быть измерены с помощью электромеханических приборов непосредственной оценки. Такой способ измерения имеет существенный недостаток, так как электромеханические приборы непосредственной оценки обладают заметным собственным потреблением энергии. Например, электромеханические вольтметры непосредственной оценки шунтируют тот участок цепи, к которому подключаются. Это искажает режим цепи и меняет распределение потенциалов. С другой стороны, эти приборы имеют ограниченную точность. Их погрешность, в лучшем случае, составляет (0,1–0,2) %, а обычно – значительно больше.

Применение компенсаторов устраняет указанные недостатки. Общие сведения о компенсаторах приведены в литературе [1; 2; 8].

18.2. Компенсаторы постоянного тока с ручным управлением

Схема компенсатора приведена на рис. 18.1.

Нормальный элемент $E_{\text{о}}$ представляет собой гальванический элемент со стабильной ЭДС. Каждый нормальный элемент проходит индивидуальную аттестацию, и его ЭДС, определяемая при аттестации, заносится в паспорт. Допускаемое отклонение ЭДС за 1 год нормируется. В зависимости от класса точности (кл. т.) оно не должно превышать определенных значений. Например, для нормальных элементов Э–303 класса точности 0,02 допускаемое отклонение ЭДС за 1 год должно быть не более 190 мкВ; для нормальных элемен-

тов Х–480 класса точности 0,005 – не более 50 мкВ; для элементов Х–482 класса точности 0,002 – не более 10 мкВ.

Приведем значения ЭДС для некоторых конкретных нормальных элементов (ЭДС даны при температуре +20 ^{0}С):

ненасыщенный нормальный элемент Э–303 № 66901 кл. т. 0,02, E_0 = 1,01923 В;

Э–303 № 66902 кл. т. 0,02, E_0 = 1,01930 В;

Х–480 № 1525 кл. т. 0,005, E_0 = 1,018622 В.

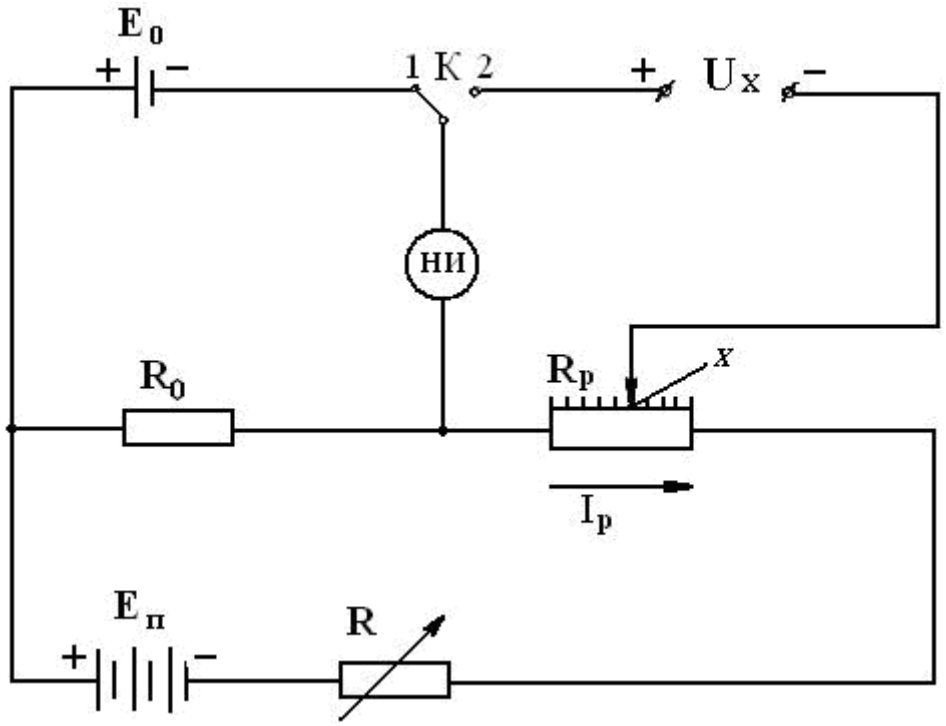


Рис. 18.1. Схема компенсатора с ручным управлением:

E_0 – нормальный элемент;
U_x – измеряемое напряжение;
R_0 – образцовое сопротивление;
$E_п$ – источник питания;
R – переменное сопротивление;
$R_р$ – реохорд;
НИ – нуль-индикатор;
К – ключ

К недостаткам нормальных элементов следует отнести значительную зависимость их ЭДС от температуры. Например, при поверке нормальных элементов температура окружающей среды должна быть +20 ^{0}С с точностью ±0,1 ^{0}С. При работе нормальные элементы высокого класса помещаются в специальные термостаты и без них эксплуатироваться не могут. Другим их недостатком является «боязнь» тряски, вибраций, ускорений и т. д.

Нормальные элементы должны соответствовать требованиям государственного стандарта ГОСТ 1954–84 [114].

Из-за эксплутационных недостатков нормальные элементы в последнее время частично заменяются источниками стабильных ЭДС на основе параметрических и электронных стабилизаторов.

Другим важным элементом компенсатора, обеспечивающим его малую погрешность, является образцовое сопротивление высокого класса R_0.

Работа компенсаторов постоянного тока протекает в следующей последовательности.

1-й этап. На первом этапе проводится установка рабочего тока $I_р$. Для этого переключатель К устанавливается в положение 1. В этом случае к нуль-индикатору НИ прикладывается разность ΔU_0 между ЭДС нормального элемента E_0 и падением напряжения U_0 на сопротивлении R_0.

$$U_0 = I_p \cdot R_0, \tag{18.1}$$

где $I_р$ – рабочий ток;

R_0 – образцовое сопротивление.

$$\Delta U_0 = U_0 - E_0, \tag{18.2}$$

где E_0 – ЭДС нормального элемента;

U_0 – падение напряжения на образцовом сопротивлении.

При $\Delta U_0 \neq 0$ показания НИ отличны от нуля. Изменяя переменное сопротивление R (и тем самым изменяя рабочий ток $I_р$), добиваются нулевых показаний нуль-индикатора НИ. При этом $\Delta U = 0$ и $E_0 = U_0$. Тогда, учитывая соотношение (18.1), можно записать

$$I_p = \frac{E_0}{R_0}. \tag{18.3}$$

2-й этап. На втором этапе проводится измерение искомого напряжения $U_х$. Для этого переключатель К переводится в положение 2. В этом случае к нуль-индикатору НИ прикладывается разность ΔU между измеряемым напряжением $U_х$ и падением напряжения на реохорде $U_р$.

$$U_p = I_p \cdot R_p \cdot x, \tag{18.4}$$

где $R_р$ – сопротивление реохорда;

x – координата движка реохорда.

$$\Delta U = U_X - U_p . \qquad (18.5)$$

Если $\Delta U \neq 0$, то показания НИ отличны от нуля. Перемещая движок реохорда, добиваются нулевых показаний нуль-индикатора НИ. При этом $\Delta U = 0$ и $U_х = U_р$.

Учитывая соотношения (18.4) и (18.3), можно записать

$$U_X = I_p \cdot R_p \cdot x = \frac{E_0}{R_0} \cdot R_p \cdot x . \qquad (18.6)$$

Полученное выражение (18.6) является «уравнением шкалы» компенсаторов постоянного тока с ручным управлением. Входящие в (18.6) величины E_0, R_0, $R_р$, x известны с высокой точностью, что позволяет со столь же высокой точностью измерять искомые напряжения и ЭДС. Классы точности компенсаторов обычно имеют значения: 0,5; 0,1; 0,05; 0,02 и выше. Другим достоинством компенсаторов является их большое внутреннее сопротивление в момент компенсации (и соответственно в момент считывания показаний).

К недостаткам компенсаторов относятся их громоздкость, которая растет с ростом класса точности, и малое быстродействие.

Компенсаторы постоянного тока с ручным управлением описаны также в литературных источниках [1; 2; 8].

18.3. Автоматические компенсаторы постоянного тока

Электрические цепи на схеме показаны сплошными линиями, а механические связи – пунктирами. Автоматические компенсаторы имеют много общего с компенсаторами ручного управления (см. п. 18.1). В автоматических компенсаторах также используются нормальные элементы (или заменяющие их электронные стабилизаторы), реохорды, источники питания и другие общие элементы схемы. Работа автоматических компенсаторов протекает в следующей последовательности.

Схема автоматического компенсатора приведена на рис. 18.2.

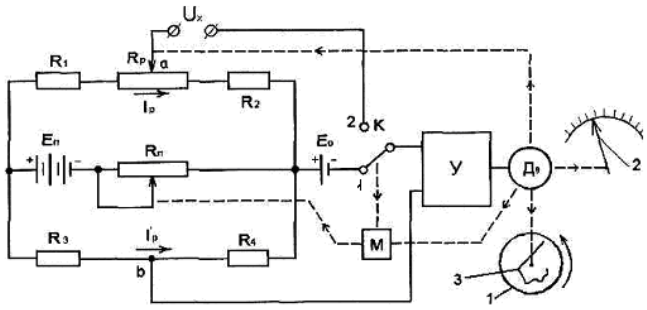


Рис. 18.2. Схема автоматического компенсатора постоянного тока:

1 – дисковая диаграмма;
2 – указатель;
3 – перо самописца;
У – усилитель;
Дв –двигатель;
М – электромеханическая муфта;
U_x – измеряемое напряжение;
$R_р$ – реохорд;
$E_п$ – источник питания;
$R_п$ – переменный резистор;
К – ключ;
E_0 – нормальный элемент;
R_1, R_2, R_3 и R_4 – постоянные резисторы

1-й этап. Установка рабочего тока

Для установки рабочего тока $I_р$ через реохорд и рабочего тока $I'_р$ в цепи сопротивлений R_3–R_4 необходимо перевести ключ К в положение 1. При этом включается электромеханическая муфта М. Через муфту М двигатель Дв соединяется с движком переменного резистора $R_п$. Одновременно образуется электрическая цепь: ключ К – нормальный элемент E_0 – образцовое сопротивление R_4 – точка «*b*» схемы. Напряжение ΔU_0, снимаемое с этой цепи, подается через вход усилителя.

$$\Delta U_0 = U_4 - E_0, \tag{18.7}$$

$$U_4 = I'_p \cdot R_4, \tag{18.8}$$

$$I'_p = \frac{E_п}{R_п + R_3 + R_4}, \tag{18.9}$$

где U_4 – падение напряжения на образцовом сопротивлении;

E_0 – ЭДС нормального элемента;

R_4 – образцовое сопротивление.

При $\Delta U_0 = 0$ усилитель У усиливает это напряжение. С выхода усилителя напряжение подается на двигатель Дв, который начинает работать и через муфту М перемещает движок резистора $R_П$. Перемещение движка приводит к изменению значения сопротивления $R_П$ и, в соответствии с (18.9), – к изменению значения тока $I'_р$. Ток $I'_р$ изменяется до тех пор, пока не выполняются условия:

$U_4 = E_0$ и $\Delta U_0 = 0$. При этом двигатель останавливается, и работа по установке рабочего тока прекращается.

2-й этап. Измерение

Для проведения измерения ключ К переводится в положение 2. При этом муфта М отключает двигатель Дв от движка переменного резистора $R_П$. Одновременно образуется электрическая цепь: ключ К – измеряемое напряжение U_x – точка схемы *«a»* – точка схемы *«b»*. Напряжение ΔU, снимаемое с этой цепи, подается на вход усилителя.

$$\Delta U_0 = U_X - U_{AB}, \qquad (18.10)$$

где U_X – измеряемое напряжение;

U_{AB} – разность потенциалов между точками схемы *«a»* и *«в»*.

Если $\Delta U \neq 0$, то это напряжение усиливается и подается на двигатель, который начинает работать и перемещать движок реохорда R_p, стрелку (указатель) 2 и перо самописца 3. Перемещение движка реохорда R_p приводит к изменению значения напряжения U_{AB}. Напряжение U_{AB} изменяется до тех пор, пока не станет равно измеряемому напряжению U_x. При этом в соответствии с (18.10) $\Delta U = 0$, двигатель останавливается. Результат измерения считывается со шкалы (в зависимости от положения указателя 2) и с дисковой диаграммы по кривой, нанесенной пером самописца. Шкалы могут быть круговыми (как на рис. 18.2) и прямолинейными. Диаграммы могут быть дисковыми (как на рис. 18.2) и ленточными. Компенсаторы градуируются в вольтах (или в милливольтах). Иногда компенсаторы (особенно часто автоматические) используются в комплекте с термопарами для измерения температуры. В этом случае приборы градуируются в градусах Цельсия. Погрешность таких приборов составляет, как правило, 0,5 %. Погрешность записи результатов измерений – около 1 %.

Дополнительные сведения по автоматическим компенсаторам постоянного тока можно почерпнуть в литературных источниках [1; 2; 8].

18.4. Полярно-координатные компенсаторы переменного тока

Для уравновешивания двух электрических величин на переменном токе необходимо выполнение следующих условий: равенство величин по модулю; противоположность их фаз; равенство частот; идентичность формы измеряемой и компенсирующей величин.

Возможность осуществления перечисленных условий обеспечивается конструкцией компенсаторов (потенциометров) и порядком их использования.

Полярно-координатные компенсаторы содержат фазорегулятор и делитель напряжения (реохорд), с помощью которых регулируется компенсирующее напряжение по фазе и по модулю (рис. 18.3).

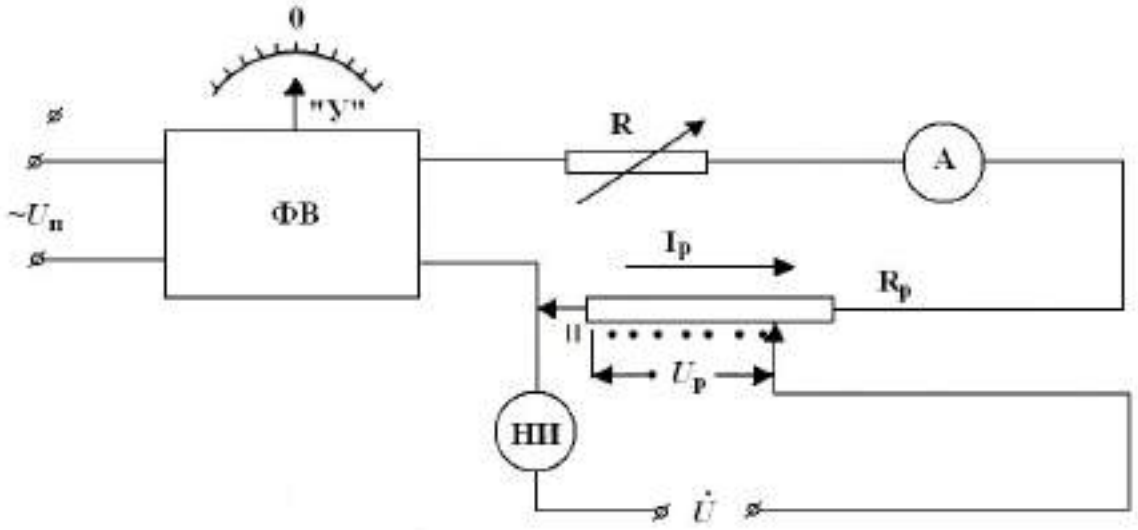


Рис. 18.3. Схема полярно-координатного компенсатора переменного тока:

ФВ – фазовращатель;
НИ – нуль-индикатор;
R – переменный резистор;
$R_р$ – реохорд;
$I_р$ – рабочий ток;
$U_П$ – напряжение питания;
$\dot{U}$ – измеряемое напряжение(комплексная величина)

Рабочий ток $I_р$ устанавливается с помощью переменного резистора R (изменением его сопротивления) по амперметру (или миллиамперметру). Класс точности используемых амперметров электродинамической системы не выше 0,1 или 0,2. Использование амперметров для установки $I_р$ снижает точность компенсаторов переменного тока (по сравнению с компенсаторами постоянного тока) и объясняется отсутствием меры ЭДС переменного тока, аналогичной нормальному элементу. В качестве нуль-индикатора обычно используется вибрационный галь-

ванометр. При измерении компенсация искомого напряжения $\overset{0}{U}$ проводится по модулю и по фазе. Перемещением движка реохорда $R_{\text{р}}$ и регулятора фазовращателя ФВ добиваются нулевых показаний нуль-индикатора НИ. При этом фазы измеряемого и компенсирующего напряжений противоположны, а модули равны:

$$\dot{U} = U_p \cdot e^{j\varphi}, \tag{18.11}$$

$$U_k = I_p \cdot R'_p, \tag{18.12}$$

где U_{k} – модуль компенсирующего напряжения;

φ – угол между компенсирующим напряжением и опорным (за опорное обычно принимается напряжение питания $U_{\text{П}}$);

$R'_{\text{р}}$ – сопротивление использованной части реохорда (от 0 до движка).

При заданном рабочем токе $I_{\text{р}}$ реохорд $R_{\text{р}}$ может быть проградуирован в вольтах (или милливольтах), что дает возможность непосредственного отсчета модуля действующего (или амплитудного) значения измеряемого напряжения. Отсчет угла φ осуществляется по шкале, которой снабжен фазовращатель ФВ.

Существенным недостатком этого типа компенсаторов является большая погрешность измерения фазы искомого напряжения (до 1^0). Причина – в трудности изготовления фазовращателей высокой точности. По этой причине полярно-координатные компенсаторы переменного тока не нашли широкого применения.

Дополнительные сведения по рассмотренным компенсаторам приведены в литературе [1; 2; 8].

18.5. Прямоугольно-координатные компенсаторы переменного тока

Принцип действия рассматриваемых компенсаторов переменного тока основан на раздельной компенсации активной и реактивной составляющих измеряемого напряжения соответствующими составляющими компенсирующего напряжения (рис. 18.4).

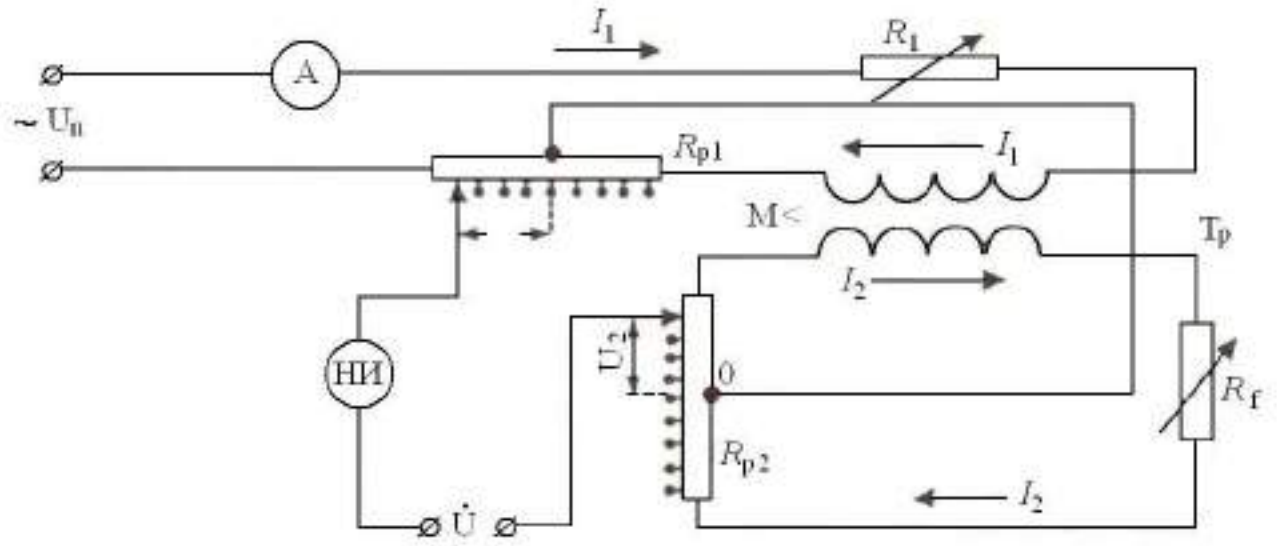


Рис. 18.4. Схема прямоугольно-координатного компенсатора переменного тока:
$R_{р1}$, $R_{р2}$ – реохорды;
$T_р$ – воздушный трансформатор;
R_f – переменный резистор;
$U_П$ – напряжение питания;
$\dot{U}$ – измеряемое напряжение (комплексная величина);
НИ – нуль-индикатор;
I_1 – рабочий ток первого контура;
I_2 – рабочий ток второго контура;
R_1 – переменное сопротивление;
M – взаимная индуктивность между обмотками трансформатора $T_р$

Прямоугольно-координатные компенсаторы имеют две рабочих цепи. Первая рабочая цепь состоит из реохорда $R_{р1}$, первичной обмотки воздушного трансформатора $T_р$, переменного сопротивления R_1 и амперметра. К этой цепи прикладывается питание (с напряжением $U_П$). Вторая рабочая цепь состоит из реохорда $R_{р2}$, вторичной обмотки воздушного трансформатора $T_Р$ и переменного сопротивления R_f. Рабочие цепи связаны между собой индуктивно (взаимная индуктивность между обмотками трансформатора M). Ток I_1 устанавливается по амперметру с помощью переменного сопротивления R_1. Значение тока I_2 зависит от взаимной индуктивности M и значений сопротивлений $R_{р2}$ и R_f. Сопротивление резистора R_f служит для поддержания требуемого значения I_2 при изменении частоты. Токи I_1 и I_2 сдвинуты по фазе относительно друг друга на 90^0. Падения напряжений от этих токов на сопротивлениях реохордов $R_{р1}$ и $R_{р2}$ также сдвинуты по фазе на 90^0. Середины реохордов соединены между собой перемычкой. В силу этого потенциалы средних точек реохордов могут быть приняты за ноль. Меняя путем перемещения движков реохордов величину падений напряжений U_1 и U_2 между движками и начальной точкой «0», можно

получить компенсацию измеряемого напряжения $\dot{U}$ в любом из четырех квадрантов координатной плоскости.

О компенсации измеряемого напряжения судят по показаниям нуль-индикатора НИ (в момент компенсации НИ показывает ноль). В этом случае измеряемое комплексное напряжение $\dot{U}$ уравновешивается геометрической суммой напряжений U_1 и U_2:

$$U = U_1 + jU_2 \,. \tag{18.13}$$

Модуль и фаза измеряемого напряжения равны:

$$|U| = \sqrt{U_1^2 + U_2^2} \,, \tag{18.14}$$

$$\varphi = \text{arctg}\frac{U_2}{U_1}. \tag{18.15}$$

При синфазности рабочего тока первого контура I_1 и напряжения питания $U_\text{П}$ угол φ представляет собой фазовый сдвиг измеряемого напряжения относительно напряжения питания (как и в полярно-координатных компенсаторах).

Компенсаторы переменного тока значительно уступают по точности компенсаторам постоянного тока. Это связано с тем, что рабочий ток приходится устанавливать по электродинамическим амперметрам, классы точности которых, в лучшем случае, – 0,1 или 0,2. Поэтому, обладая большим входным сопротивлением (как и аналогичные приборы постоянного тока), прямоугольно-координатные компенсаторы переменного тока имеют относительные погрешности на уровне 0,2–0,5 %.

Дополнительные сведения по рассмотренным компенсаторам переменного тока приведены в литературных источниках [1; 2; 8].

19. АНАЛОГОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

19.1. Общие положения

Аналоговые электронные приборы представляют собой средства измерений, в которых преобразование измеряемой величины осуществляется с помощью аналоговых электронных устройств (рис. 19.1). Аналоговые электронные приборы применяются при измерении практически всех электрических величин: напряжения, тока, мощности, частоты и т. д.

Применение электронных устройств значительно расширяет возможности средств измерений: повышается чувствительность приборов; расширяется диапазон измерений; уменьшается мощность, потребляемая от измерительных цепей, и т. п.

В настоящее время получили распространение такие приборы, как электронные вольтметры и амперметры постоянного и переменного тока, омметры, измерители индуктивностей и емкостей, частотомеры, анализаторы спектров и др. Вместе с тем следует отметить, что аналоговые электронные приборы частично вытесняются соответствующими цифровыми приборами.

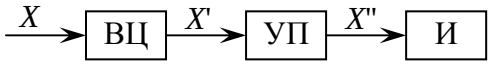


Рис. 19.1. Структурная схема аналоговых электронных приборов:
ВЦ – входная цепь; УП – усилитель–преобразователь; И – измеритель

В состав входной цепи (ВЦ) входят делители, фильтры, защитные устройства от перегрузки, переключатели пределов измерения и т. п. На вход ВЦ подается измеряемая электрическая величина X, а с выхода снимается электрическая величина X'.

Усилитель-преобразователь (УП) представляет собой блок, обеспечивающий усиление и преобразование электрической величины X'. Усилительно-преобразовательный блок строится на основе различных электронных устройств: полупроводниковых диодов, транзисторов, электронных ламп, микросхем и т. д. В общем случае УП и усиливает, и преобразует подавае-

мые на его вход электрические величины, но в частном случае это может быть только усилитель или только преобразователь. С выхода УП снимается электрическая величина *X*".

Электрическая величина *X*" подается на измеритель (И). В качестве измерителя обычно используются электромеханические приборы магнитоэлектрической системы. Могут также применяться электромеханические приборы электростатической системы и газоразрядные устройства.

Примеры обозначений аналоговых электронных приборов приведены в приложении (см. прил. 4).

Описание рассматриваемых приборов приведено в литературных источниках [1; 2; 36].

19.2. Вольтметры средних значений

Упрощенная схема вольтметра средних значений выпрямительной системы приведена на рис. 19.2.

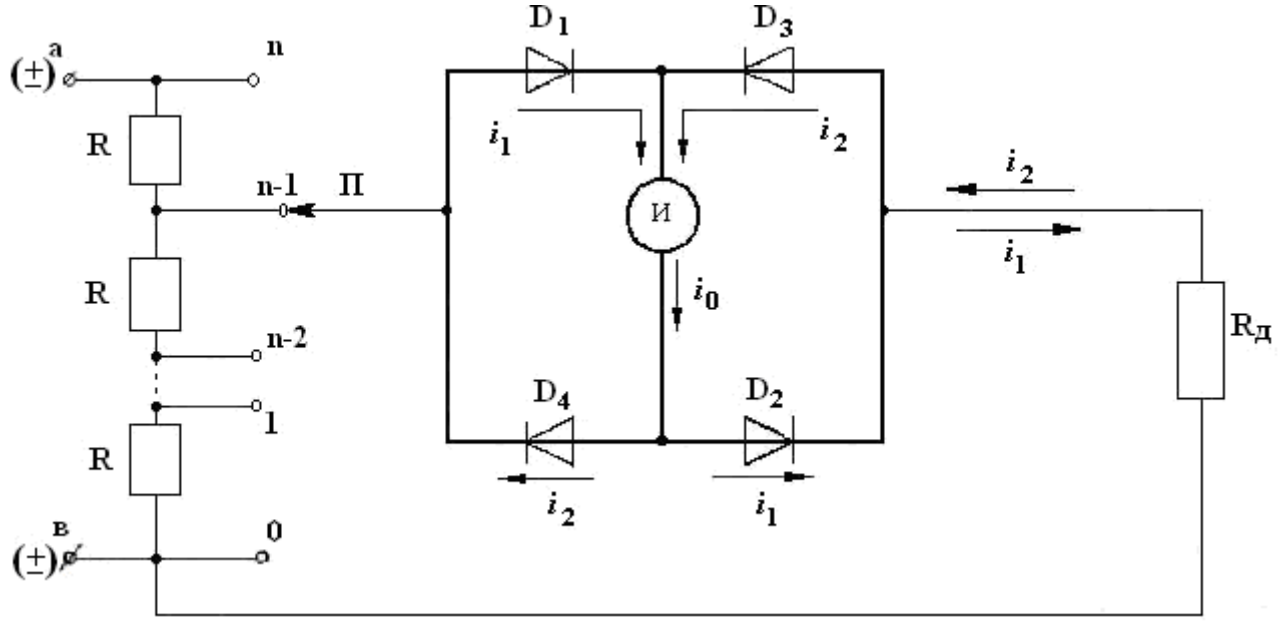


Рис. 19.2. Схема вольтметра средних значений: *R* – постоянные сопротивления; П – переключатель; 0-1-...-*n* – неподвижные контакты переключателя; ~*U* – измеряемое переменное напряжение; D_1; D_2; D_3; D_4 – полупроводниковые диоды; И – измеритель (электромеханический прибор магнитоэлектрической системы); $R_Д$ –постоянное сопротивление; +(–) – полярность точки «а» при положительных и отрицательных полупериодах измеряемого напряжения; –(+) – полярность точки «в» при отрицательных и положительных полупериодах измеряемого напряжения

Входная цепь (ВЦ) приведенного на рис. 19.2 вольтметра средних значений представляет собой делитель из n резисторов R. С помощью переключателя, перемещающегося по неподвижным контактам делителя, выбирают необходимое значение измеряемого напряжения. Выбранное напряжение подается на выпрямительный мост, собранный на диодах D_1, D_2, D_3, D_4, и далее (после выпрямления) – на измеритель И магнитоэлектрической системы. Графики напряжений и токов, действующих в рассматриваемой схеме, приведены на рис. 19.3.

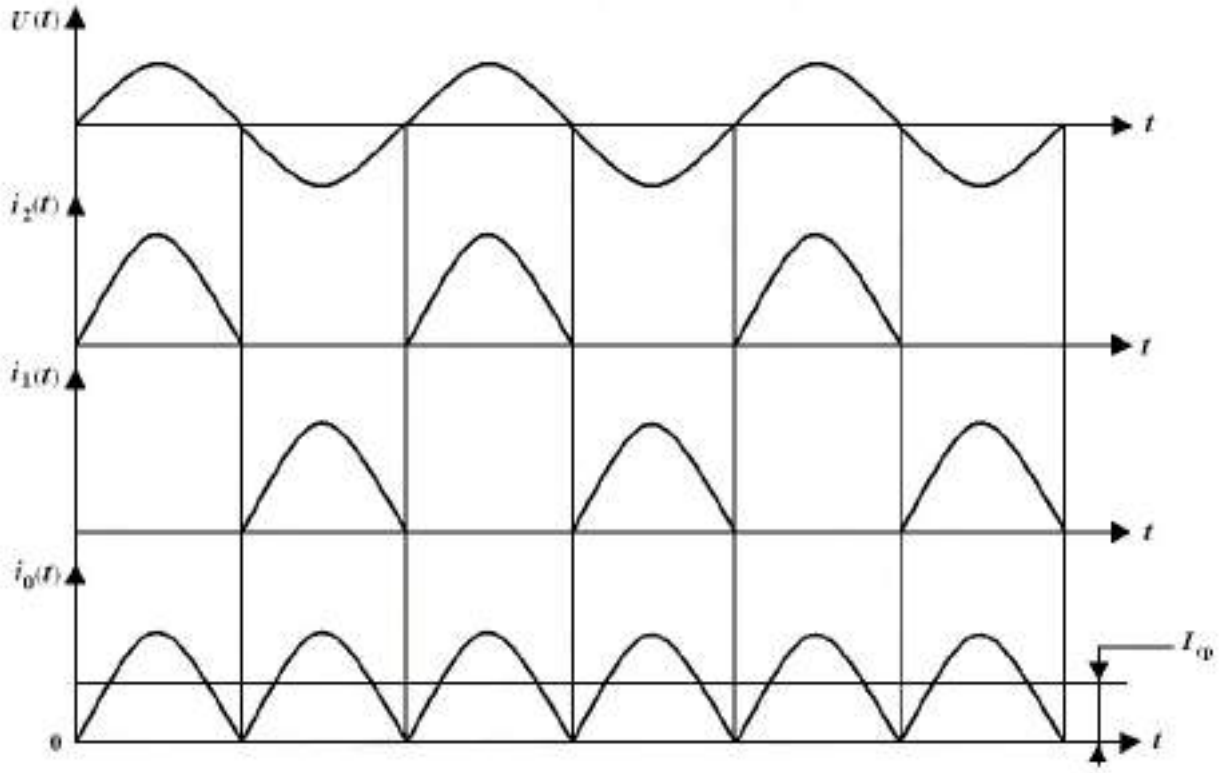


Рис. 19.3. Графики напряжений и токов: $\mathcal{U}(t)$ – мгновенное значение измеряемого напряжения; $i_1(t)$ – мгновенное значение тока в положительные полупериоды измеряемого напряжения; $i_2(t)$ – мгновенное значение тока в отрицательные полупериоды измеряемого напряжения; $i_0(t)$ – мгновенное значение тока, протекающего через измеритель; $I_{ср}$ – среднее значение тока; t – время

Работа вольтметра средних значений протекает в следующей последовательности. При положительном полупериоде измеряемого напряжения (в этом случае «+» приложен к точке *«а»* схемы и «–» приложен к точке *«в»* (см. рис. 19.2)) ток i_1 протекает по цепи: точка *«а»* – сопротивление R – диод D_1 – измеритель И – диод D_2 – сопротивление $R_Д$ – точка *«в»*. При отрицательном полупериоде измеряемого напряжения («+» в точке *«в»*, «–» в точке *«а»*) ток i_2

протекает по цепи: точка *«в»* – сопротивление $R_Д$ – диод D_3 – измеритель И – диод D_4 – переключатель П – резистор R – точка *«а»*.

Через измеритель И в оба полупериода протекает суммарный ток i_0, являющийся током двухполупериодного выпрямления.

Измеритель И магнитоэлектрической системы реагирует на средний ток $I_{ср}$. Показания измерителя:

$$\alpha = K_I \cdot I_{ср}, \tag{19.1}$$

$$I_{ср} = \frac{1}{T}\int_0^T i_0(t)dt, \tag{19.2}$$

где α – показание прибора (измерителя);

K_I – коэффициент пропорциональности по току;

$I_{ср}$ – среднее значение тока;

T – период измеряемого напряжения.

$$I_{ср} = \frac{U_{ср}}{R_\Sigma}, \tag{19.3}$$

где $U_{ср}$ – среднее значение измеряемого напряжения;

R_Σ – суммарное сопротивление в цепи измерителя.

Подставляя в (19.1) значение $I_{ср}$ по (19.3), получаем

$$\alpha = \frac{K_I}{R_\Sigma} \cdot U_{ср}, \tag{19.4}$$

$$\alpha = K_2 \cdot U_{ср}, \tag{19.5}$$

где K_2 – коэффициент пропорциональности по среднему значению напряжения.

Полученное выражение (19.5) свидетельствует, что показания рассматриваемого вольтметра (см. рис. 19.2) прямо пропорциональны среднему значению измеряемого переменного напряжения.

$$U = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [U(t)]^2 dt}, \tag{19.6}$$

$$U_{ср} = \frac{U}{k_ф}, \qquad (19.7)$$

где U – действующее (эффективное) значение измеряемого напряжения;

$k_ф$ – коэффициент формы.

Подставляя (19.7) в (19.5), получаем

$$\alpha = \frac{K_2}{k_ф} \cdot U = K \cdot U, \qquad (19.8)$$

где K – коэффициент пропорциональности по действующему значению синусоидального напряжения;

$k_ф = 1{,}11$ – для синусоидального напряжения.

Описываемый вольтметр является вольтметром средних значениий и, согласно (19.5), может быть проградуирован в средних значениях ($U_{ср}$) независимо от формы измеряемого напряжения.

При градуировке прибора в действующих значениях измеряемого напряжения его показания, согласно (19.8), зависят от формы этого напряжения. Для синусоидального напряжения будут одни показания прибора, для прямоугольного напряжения – другие показания, для треугольного – третьи и т. д.

Если вольтметр проградуирован в действующих значениях, то в обязательном порядке указывается форма измеряемого напряжения. Как правило, такие вольтметры предназначены для измерения действующих значений синусоидальных напряжений. Измерение напряжений, отличных от синусоидальных, приводит в этом случае к появлению дополнительных погрешностей, которые тем больше, чем больше измеряемое напряжение отлично от синусоидального.

Отметим, что рассматриваемые вольтметры называют также приборами выпрямительной системы. Обозначения этих приборов приведены в приложении (см. прил. 4).

Дополнительные сведения по вольтметрам средних значений приведены в литературных источниках [1; 2; 5; 36].

19.3. Вольтметры амплитудных значений

В зависимости от принципа построения различают вольтметры амплитудных значений (или «пиковые вольтметры») с открытым входом (рис. 19.4) и вольтметры с закрытым входом (рис. 19.6). На рис. 19.5 приведены временные диаграммы сигналов вольтметров амплитудных значений с открытым входом.

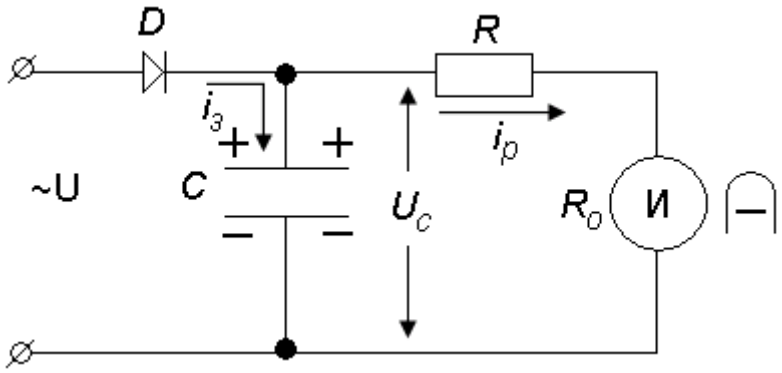


Рис. 19.4. Схема амплитудного вольтметра с открытым входом:

~*U* – измеряемое (входное) напряжение;

D – полупроводниковый диод;

C – емкость конденсатора;

R – постоянное сопротивление;

И – измеритель магнитоэлектрической системы;

$R_{o\_}$ – внутреннее сопротивление измерителя

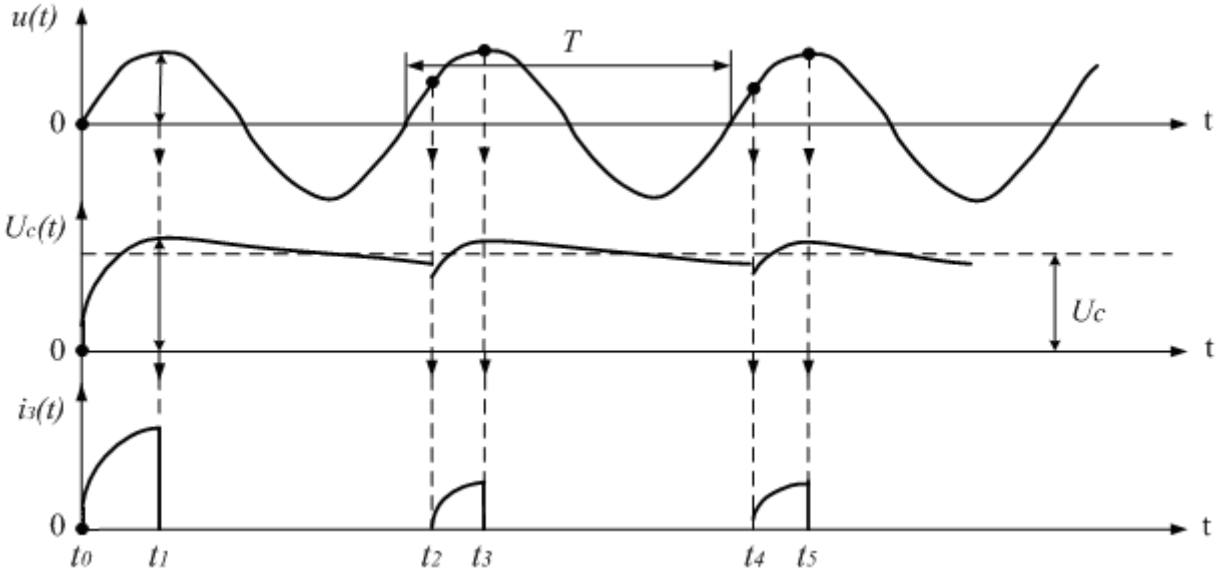


Рис. 19.5. Временные диаграммы сигналов амплитудных вольтметров с открытым входом: $u(t)$ – мгновенное значение измеряемого (входного) напряжения; $u_c\ (t)$ – мгновенное значение напряжения на конденсаторе; $i_З$ – мгновенное значение тока заряда

Рассмотрим работу амплитудных вольтметров с открытым входом при подаче на вход синусоидального напряжения. Пусть в некоторый момент времени t_0 на вход рассматриваемого вольтметра (см. рис. 19.4) прикладывается

синусоидальное напряжение $U = U_m \sin(wt)$, которое через открытый диод D начинает заряжать конденсатор C.

Постоянная времени заряда $T_З$:

$$T_З = (R_с + R_д) \cdot C \qquad (19.9)$$

где $R_с$ – внутреннее сопротивление источника сигнала;

$R_Д$ – сопротивление открытого диода;

C – емкость конденсатора.

Конденсатор C заряжается до амплитудного значения измеряемого напряжения U_m (см. рис. 19.5) при выполнении условия

$$T_З < 0{,}5T, \qquad (19.10)$$

где T – период измеряемого напряжения.

На этом же рисунке показан зарядный ток $i_З$ в первую четверть периода (от t_0 до t_1). С момента времени t_1 входное напряжение уменьшается, диод закрывается. Конденсатор будет разряжаться через сопротивления R и R_0 (ток разряда $i_р$) до момента времени t_2, когда входное (измеряемое) напряжение становится равным напряжению на конденсаторе, после чего диод открывается и конденсатор подзаряжается до U_m (момент времени t_2–t_3). Ток подзаряда в моменты времени от t_2 до t_3 показан на рис. 19.5. Аналогично происходит подзаряд конденсатора в моменты времени t_4–t_5 и t_6–t_7.

Постоянная времени разряда конденсатора C:

$$T_р = (R + R_0), \qquad (19.11)$$

где $T_р$ – постоянная времени разряда;

R – сопротивление цепи;

R_0 – внутреннее сопротивление измерителя магнитоэлектрической системы.

Для медленного разряда конденсатора необходимо выполнить условие:

$$T_р >> T. \qquad (19.12)$$

При выполнении условия (19.12) среднее значение напряжения на конденсаторе $U_{ср}$ близко к U_m (см. рис. 19.5), т. е.

$$U_m = U_{ср}. \qquad (19.13)$$

Показания измерителей магнитоэлектрической системы пропорциональны средним значениям электрических величин. С учетом (19.13) можно записать:

$$\alpha = k \cdot U_m, \qquad (19.14)$$

где α – показание амплитудного вольтметра;

k – коэффициент пропорциональности;

U_m – амплитуда входного (измеряемого) напряжения.

При наличии постоянной составляющей во входном сигнале $\pm U_0$ выходное напряжение (и соответственно показание) амплитудного вольтметра с открытым входом пропорционально величине $U_m \pm U_0$, т. е.

$$\alpha = k(U_m \pm U_0). \qquad (19.15)$$

Приведенная на рис. 19.4 схема предназначена для измерения амплитуды входного сигнала положительной полярности. Для измерения амплитуды отрицательной полярности необходимо изменить полярность включения диода.

На рис. 19.6 приведена схема амплитудного вольтметра с закрытым входом.

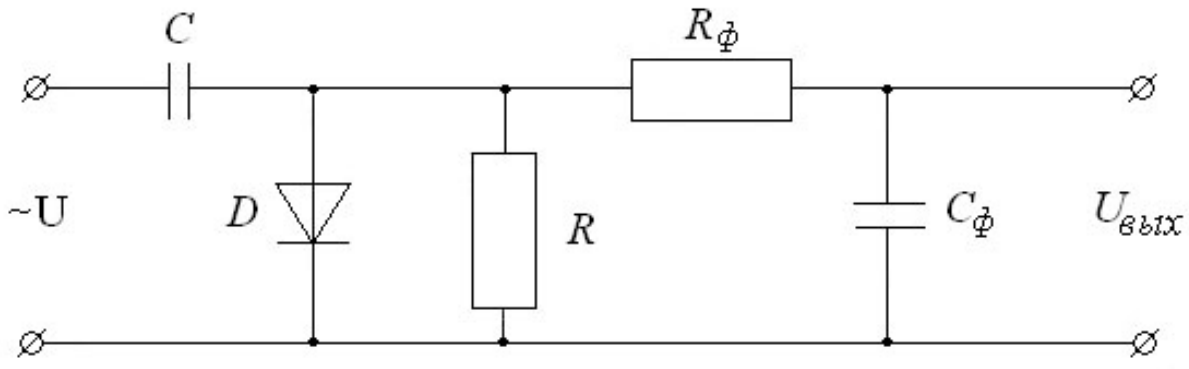


Рис. 19.6. Схема амплитудного вольтметра с закрытым входом: U – действующее значение измеряемого (входного) напряжения; $R_ф$, $C_ф$ – сопротивление и емкость фильтра; $U_{вых}$ – выходное напряжение; R – постоянное сопротивление

В этой схеме процесс заряда конденсатора аналогичен процессу, рассмотренному в схеме амплитудного вольтметра с открытым входом. Напряжение на конденсаторе устанавливается и остается близким к значению U_m. С помощью фильтра $R_ф C_ф$ напряжение усредняется. Выходное напряжение $U_{вых}$ постоянно и

близко к U_m. Амплитудные вольтметры с закрытым входом не реагируют на постоянную составляющую входного (измеряемого) напряжения.

Напряжение $U_{вых}$ может быть измерено с помощью, например, измерителя магнитоэлектрической системы так же, как для амплитудных вольтметров с открытым входом. В этом случае уравнение шкалы для вольтметров с закрытым входом аналогично уравнению шкалы для вольтметров с открытым входом (см. соотношение (19.14)).

Следует отметить, что лучшие результаты обеспечивает подключение магнитоэлектрических измерителей к амплитудным вольтметрам через электронные усилители. Использование электронных усилителей позволяет легче выполнить условие (19.12) и получить более благоприятные метрологические характеристики приборов.

Рассмотренные вольтметры обычно градуируются в амплитудных значениях измеряемого напряжения. В этом случае показания вольтметров не зависят от формы входного (измеряемого) напряжения. Если же приборы проградуированы в действующих значениях синусоидального напряжения, то при измерении напряжений другой формы необходимо делать соответствующий пересчет с учетом коэффициента амплитуды измеряемого напряжения.

Более детально с амплитудными вольтметрами можно ознакомиться по литературным источникам [1; 2; 36].

19.4. Конденсаторные частотомеры

Электронные конденсаторные частотомеры используются для измерения частоты периодических напряжений в диапазоне от 20 Гц до 500 кГц. Приведенная погрешность таких приборов обычно находится в пределах 1,0–2,5 %.

Принцип действия электронного конденсаторного частотомера поясняется схемой, приведенной на рис. 19.7, и временными диаграммами, приведенными на рис. 19.8.

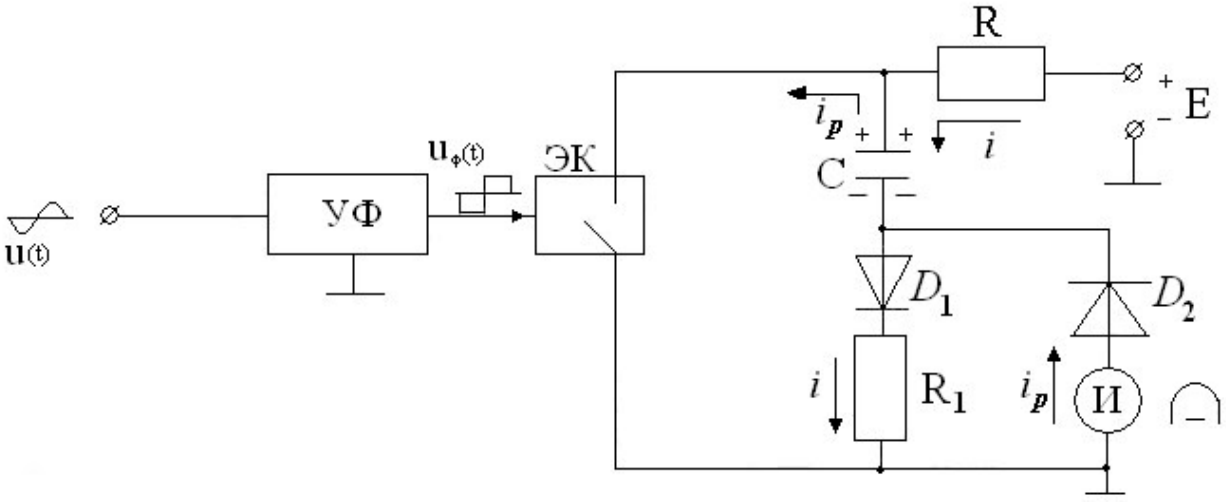


Рис. 19.7. Схема электронного конденсаторного частотомера:
УФ – усилитель-формирователь; ЭК – электронный ключ; D_1, D_2 – полупроводниковые диоды; И – измеритель магнитоэлектрической системы; R, $R1$ – постоянные сопротивления

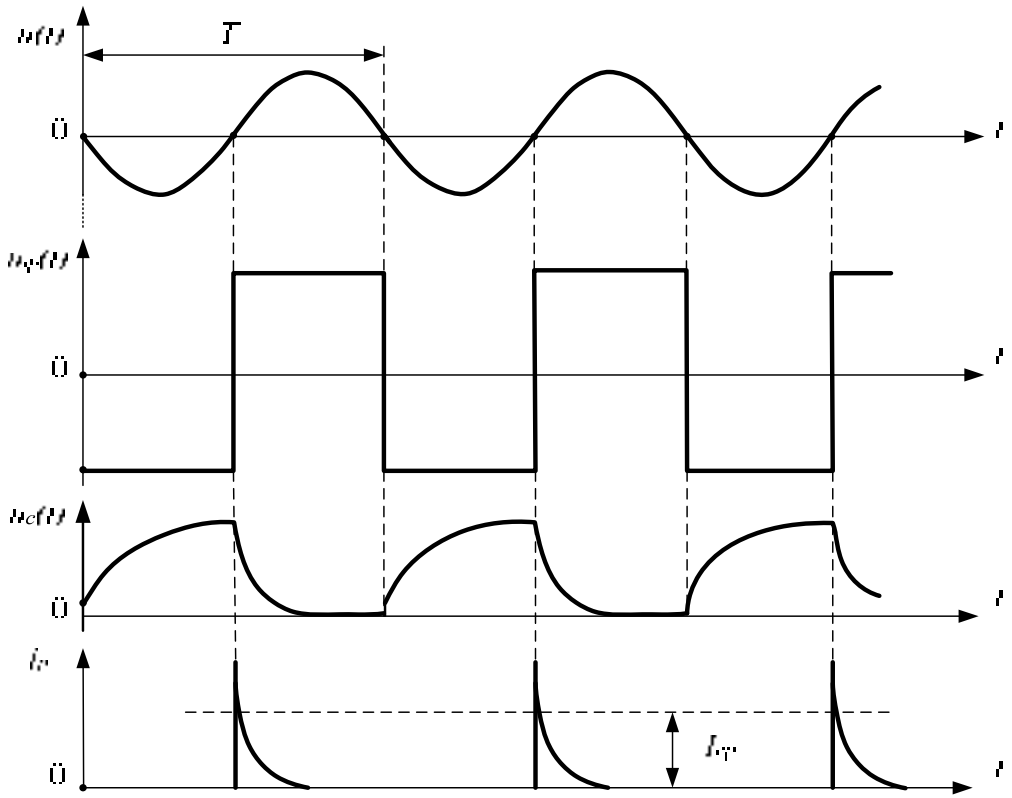


Рис. 19.8. Временная диаграмма сигналов электронного конденсаторного частотомера:
$u(t)$ – входной сигнал;
$u_ф(t)$ – напряжение на выходе усилителя – формирователя;
$u_c(t)$ – напряжение на конденсаторе C;
$i_р$ – ток разряда

Напряжение, частота которого изменяется $u(t)$ (рис. 19.7, 19.8), подается на вход усилителя-формирователя УФ, усиливающего входное напряжение и

формирующего из него прямоугольное напряжение. Этим напряжением управляется схема электронного ключа ЭК. Предполагается, что при отрицательных сигналах ЭК разомкнут, а при положительных замкнут. При разомкнутом состоянии ключа в течение половины периода конденсатор C через R_A заряжается до значения E. Ток заряда i_3 протекает через диод D_1. При замыкании ЭК конденсатор C разряжается через замкнутый ключ, измеритель И и диод D_2.

Заряд конденсатора C до напряжения питания произойдет при выполнении условия

$$t_з < 0{,}5T\,, \tag{19.16}$$

где t_3 – время заряда;

T – период входного напряжения.

Полный разряд конденсатора C произойдет при выполнении условия

$$t_p < 0{,}5T\,, \tag{19.17}$$

где $t_р$ – время разряда.

При выполнении условий (19.16) и (19.17) конденсатор C за первую половину периода запасает заряд q. За вторую половину периода это количество электричества проходит через измеритель И.

$$q = E \cdot C\,, \tag{19.18}$$

где E – ЭДС источника питания.

Показания измерителя магнитоэлектрической системы пропорциональны среднему току, проходящему через него.

$$\alpha = K_П \cdot I_{ср}\,, \tag{19.19}$$

$$I_{ср} = \frac{1}{T}\int_0^t i_p(t)dt\,, \tag{19.20}$$

$$q = \int_0^t i_p(t)dt\,, \tag{19.21}$$

$$f = \frac{1}{T}, \tag{19.22}$$

где α – показания прибора;

$K_П$ – коэффициент пропорциональности;

$I_{ср}$ – среднее значение разрядного тока;

$i_р$ – мгновенное значение тока разряда конденсатора;

t – текущее время;

f – частота входного напряжения.

На основании соотношений (19.18)–(19.22) можно записать:

$$\alpha = K_П \cdot \frac{1}{T} \cdot q = K_П \cdot f \cdot E \cdot C, \quad (19.23)$$

$$K = K_П \cdot E \cdot C, \quad (19.24)$$

$$\alpha = K \cdot f, \quad (19.25)$$

где K – коэффициент пропорциональности по частоте.

Выражение (19.25) свидетельствует, что показания рассматриваемого прибора прямо пропорциональны частоте входного сигнала.

Дополнительные сведения по электронным конденсаторным частотомерам приведены в литературных источниках [1; 2].

19.5. Омметры

Электронные омметры широко используются для измерения активных сопротивлений резисторов, контактов, изоляции, поверхностных и объемных сопротивлений и в других случаях.

Погрешность таких омметров составляет от 1–2 до 10–15 %. Особенно велики погрешности при измерении особо больших сопротивлений (при $R > (10^{10}–10^{12})$ Ом). В зависимости от диапазона измерений рассматриваемые приборы называют миллиомметрами, омметрами, мегаомметрами, тераоммметрами.

Работа электронных омметров основана, как правило, на преобразовании измеряемого сопротивления в постоянное напряжение, которое подается на магнитоэлектрический измеритель со шкалой, проградуированной в единицах сопротивления.

Наибольшее распространение получили схемы омметров, приведенные на рис. 19.9; 19.10; 19.11.

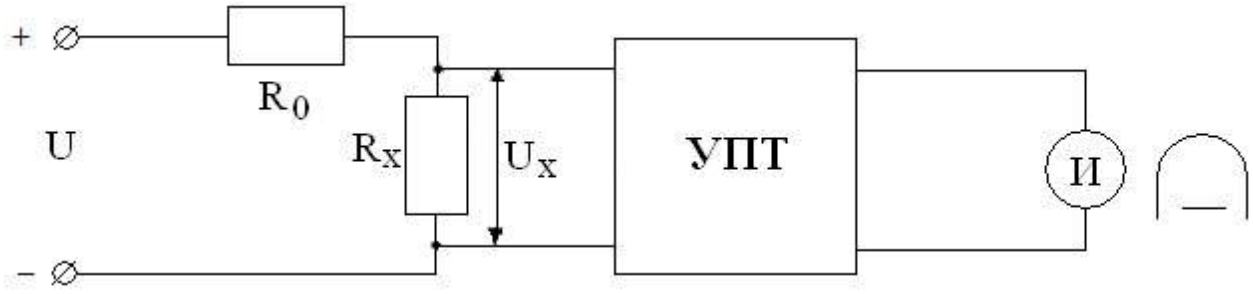


Рис. 19.9. Первый вариант омметра с усилителем постоянного тока

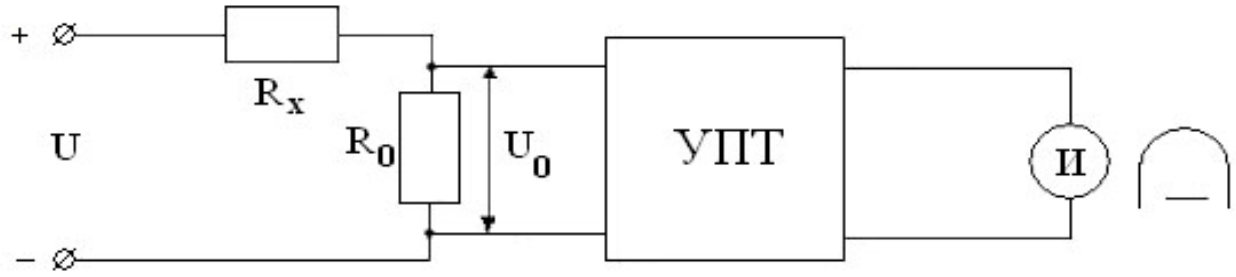


Рис. 19.10. Второй вариант омметра с усилителем постоянного тока:
U – напряжение стабильного источника питания; УПТ – усилитель постоянного тока;
R_0 – образцовое известное сопротивление; R_x – измеряемое сопротивление;
И – измеритель магнитоэлектрической системы

Для схемы, приведенной на рис. 19.9, можно записать:

$$U_x = U\frac{R_x}{R_x + R_0}. \qquad (19.26)$$

Считая, что $R_x << R_0$, получаем

$$U_x = U\frac{R_x}{R_0}, \qquad (19.27)$$

$$\alpha = k \cdot U_x = k \cdot U \cdot \frac{R_x}{R_0}, \qquad (19.28)$$

где α – показание измерителя магнитоэлектрической системы (совпадает с показаниями омметра);

k – коэффициент преобразования УПТ и измерителя.

Соотношение (19.28) свидетельствует, что показания омметра, построенного по схеме рис. 19.9, прямо пропорциональны измеряемому сопротивлению.

Для схемы, приведенной на рис. 19.10, можно записать:

$$U_0 = U \cdot \frac{R_0}{R_x + R_0}. \qquad (19.29)$$

Считая, что $R_x >> R_0$, получаем

$$U_0 = U \cdot \frac{R_0}{R_x}, \qquad (19.30)$$

$$\alpha = k \cdot U_0 = k \cdot U \cdot \frac{R_0}{R_x}. \qquad (19.31)$$

Соотношение (19.31) свидетельствует, что показания омметра, построенного по схеме рис. 19.10, обратно пропорциональны измеряемому сопротивлению.

Очевидно, что омметры по первой схеме (см. рис. 19.9) целесообразно использовать при измерении малых сопротивлений, а омметры по второй схеме (см. рис. 19.10*)* – для измерения больших сопротивлений.

В омметрах, построенных по схеме рис. 19.11, использован операционный усилитель, в цепь отрицательной обратной связи которого включен резистор R_x.

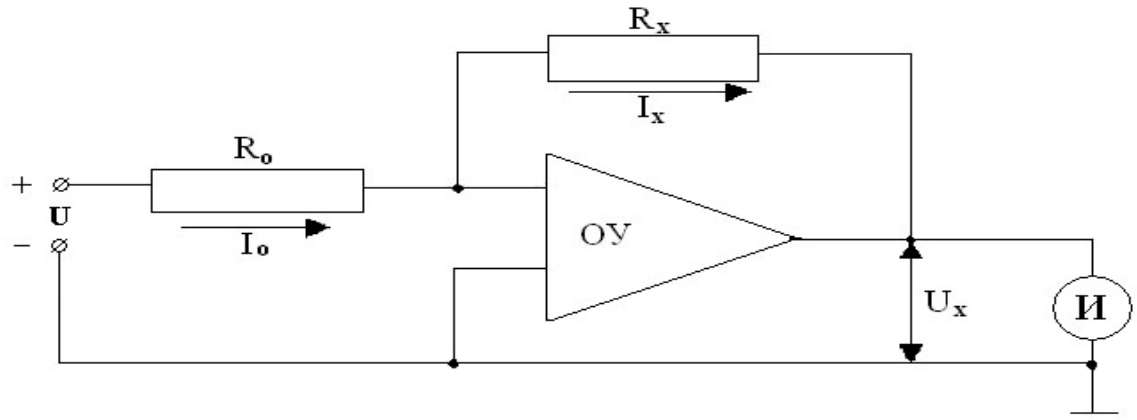


Рис. 19.11. Схема электронного омметра с операционным усилителем:
ОУ – операционный усилитель; R_x – измеряемое сопротивление; R_o – образцовое известное сопротивление; U – напряжение стабильного источника питания; И – измеритель магнитоэлектрической системы

Операционный усилитель (ОУ) имеет большой коэффициент усиления K, большое входное сопротивление и очень малые входные токи, которыми можно пренебречь. Тогда потенциал точки *«а»* близок к нулю и падение напряжения на R_x можно принять равным напряжению на измерителе (см. рис. 19.11). Следовательно, токи I_0 и I_x равны и справедливы соотношения

$$I_0 = I_x = \frac{U_0}{R_0} = \frac{U_x}{R_x}, \tag{19.32}$$

$$U_0 = U, \tag{19.33}$$

$$U_x = U \cdot \frac{R_x}{R_0}, \tag{19.34}$$

$$\alpha = S_U \cdot U \cdot \frac{R_x}{R_0}, \tag{19.35}$$

где α – показание измерителя магнитоэлектрической системы, являющееся одновременно показанием рассматриваемого омметра;

S_U – чувствительность измерителя И по напряжению.

Таким образом, согласно (19.35), показания электронного омметра, построенного по схеме рис. 19.11, прямо пропорциональны измеряемому сопротивлению.

Рассмотренные схемы нашли применение в приборах, выпускаемых серийно. Омметры типов Е6-12; Е6-15 имеют структуру, близкую к схемам рис. 19.9 и 19.10. Омметры типов Е6-10; Е6-13 построены по схеме, приведенной на рис. 19.11.

Сведения по электронным омметрам приведены в литературных источниках [1; 67; 73; 101; 108; 109].

Мостовые методы измерения сопротивлений, широко используемые на практике, в настоящем учебном пособии не рассматриваются. Сведения по этим методам измерений приведены во многих других учебных пособиях (см., например, [1; 2]).

20. ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

20.1. Общие положения

Работа большинства цифровых измерительных приборов основана на преобразовании непрерывной (аналоговой) измеряемой величины в дискретную (цифровую). Исключение составляют некоторые приборы, предназначенные для измерения дискретных величин (счетчики ядерных частиц, счетчики числа импульсов и т. д.). Процесс цифрового кодирования непрерывной величины является совокупностью квантования (дискретизации) этой величины по уровню и по времени.

В цифровых измерительных приборах (ЦИП) происходит автоматическое преобразование входной измеряемой величины в цифровой код. Автоматизм преобразования измеряемой величины в цифровой код является определяющим признаком ЦИП. На этом основании приборы, в которых результат измерения хотя и выводится на цифровое отсчетное устройство, но образуется за счет ручных операций, к цифровым не относятся. Так, компенсаторы напряжения постоянного тока и мосты с декадными магазинами сопротивлений, в которых уравновешивание выполняется вручную, цифровыми приборами считать не принято.

ЦИП включают в себя два обязательных функциональных узла: аналого-цифровые преобразователи (АЦП) и цифровые отсчетные устройства (ЦОУ). Кроме АЦП и ЦОУ, цифровые приборы могут содержать цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП). АЦП и ЦАП применяют не только как узлы ЦИП, но и как автономные устройства.

В результате квантования измеряемой величины по уровню возникает погрешность дискретности, обусловленная тем, что бесконечное множество значений измеряемой величины отражается лишь ограниченным количеством показаний ЦИП.

Погрешность дискретности присуща ЦИП и отсутствует у аналоговых приборов. Однако эта погрешность не является препятствием для увеличения

точности приборов, так как соответствующим выбором числа уровней квантования погрешность дискретности можно сделать сколь угодно малой. Практика показывает, что ЦИП, как правило, имеют значительно меньшие погрешности, чем аналоговые приборы, предназначенные для измерения тех же самых физических величин.

Дискретизация непрерывной величины $x(t)$ по времени проводится в целях преобразования $x(t)$ в дискретную (прерывную) во времени величину, которая совпадает с соответствующими значениями $x(t)$ только в определенные моменты времени. Промежуток времени между двумя соседними моментами времени дискретизации называется шагом дискретизации, который может быть постоянным или переменным.

Дискретизация по времени (так же, как и квантование по уровню) непрерывной измеряемой величины является принципиальным источником погрешности ЦИП. Однако выбором соответствующего шага дискретизации (как и уровня квантования) рассматриваемая погрешность может быть сведена к минимуму.

В конструктивном отношении ЦИП можно разделить на электромеханические и электронные. В первых используются контактные элементы (шаговые двигатели, реле), во вторых – бесконтактные элементы (электронные или полупроводниковые). Развитие ЦИП идет по пути замены контактных устройств бесконтактными.

В зависимости от преобразования измеряемой величины в код различают ЦИП последовательного преобразования, ЦИП пространственного преобразования, ЦИП поразрядного уравновешивания (кодоимпульсные) и др.

По роду измеряемой величины ЦИП подразделяют на вольтметры, частотомеры, омметры, фазометры и т. д. Часто ЦИП являются универсальными, что позволяет одним прибором измерять разные электрические величины. Например, универсальный цифровой прибор может быть предназначен для измерения постоянных и переменных напряжений, постоянных и переменных токов, электрических сопротивлений и т. д.

Дополнительные сведения по ЦИП приведены в литературных источниках [1; 2; 5; 35].

20.2. Электромеханические цифровые приборы

Электромеханические («контактные») цифровые приборы имеют в своем составе шаговые двигатели, реле, переключатели и т. д. В силу того, что они имеют большое время измерения и небольшой срок службы, они не нашли широкого применения. К достоинствам этих приборов следует отнести их малую погрешность. В качестве примера ниже рассматривается электромеханический цифровой вольтметр, предназначенный для измерения постоянных напряжений (рис. 20.1).

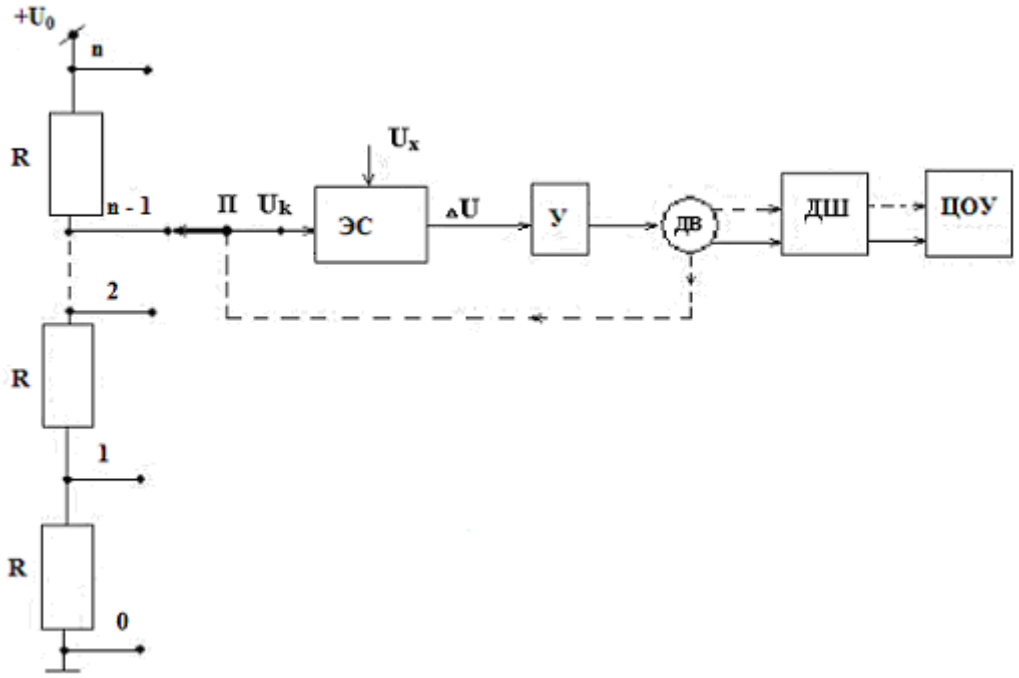


Рис. 20.1. Упрощенная схема электромеханического цифрового вольтметра:

U_x – измеряемое напряжение;
U_0 – опорное напряжение;
ЭС – элемент сравнения;
У – усилитель;
ДВ – шаговый двигатель;
ДШ – дешифратор;
ЦОУ – цифровое отсчетное устройство;
П – переключатель

Сплошными линиями на рис. 20.1 показаны электрические цепи, а пунктиром – механические связи. Шаговый двигатель ДВ может быть связан с ДШ и ЦОУ электрически или механически, в зависимости от конструктивного исполнения конкретного типа прибора, что отмечено на рисунке двумя линиями (сплошной и пунктирной).

Компенсирующее напряжение U_k, подаваемое на ЭС для сравнения с измеряемым напряжением U_x, определяется соотношением

$$U_k = \frac{U_0}{n} \cdot n_i, \qquad (20.1)$$

где n – число сопротивлений R (общее число ступеней делителя напряжения);
n_i – число включенных ступеней делителя напряжения.

Отметим, что U_k изменяется ступенями с дискретностью $\Delta U_k = U_0/n$. Значение ΔU_k определяет погрешность дискретности прибора. Теоретически погрешность дискретности может быть сколь угодно малой (ограничения имеют конструктивный и технический характер). Она зависит от числа сопротивлений, образующих делитель напряжения. Значение ΔU на выходе элемента сравнения напряжения равно разности напряжений U_x и U_k:

$$\Delta U = U_x - U_k. \qquad (20.2)$$

Если $U_x \neq U_k$, то $\Delta U \neq 0$ подается на вход усилителя y и после усиления воздействует на шаговый двигатель ДВ, который начинает перемещать подвижный контакт переключателя П. При этом изменяется компенсирующее напряжение U_k, снимаемое с делителя. Увеличение U_k (если $U_x > U_k$) или его уменьшение (если $U_x < U_k$) происходит до тех пор, пока U_k не станет примерно равно измеряемому напряжению U_x. При этом двигатель ДВ останавливается и с ЦОУ производится отсчет показаний. Дешифратор ДШ, связанный с двигателем и управляющий цифровым отсчетным устройством ЦОУ, обычно (как и ЦОУ) – электронное устройство. В этом случае связи между ДВ, ДШ и ЦОУ электрические. Но рассматриваемые устройства могут быть и электромеханическими. Тогда связи между ними механические.

Следует отметить, что вместо шагового двигателя часто используются электромеханические реле, которые осуществляют необходимую коммутацию в измерительных цепях. Делители напряжений выполняются, как правило, декадными (например, декада целых единиц измеряемой величины, декада десятых долей, декада сотых долей и т. д.).

Быстродействие электромеханических ЦИП составляет 1–2 измерения в секунду. Типичный класс точности – 0,05. Известны электромеханические цифровые приборы и более высокого класса точности (от 0,01 до 0,005).

20.3. Электронные цифровые приборы

20.3.1. Времяимпульсные вольтметры

Времяимпульсные вольтметры относятся к приборам последовательного преобразования. Они основаны на преобразовании измеряемого напряжения во временной интервал и измерении полученного интервала путем заполнения его высокочастотными импульсами (рис. 20.2).

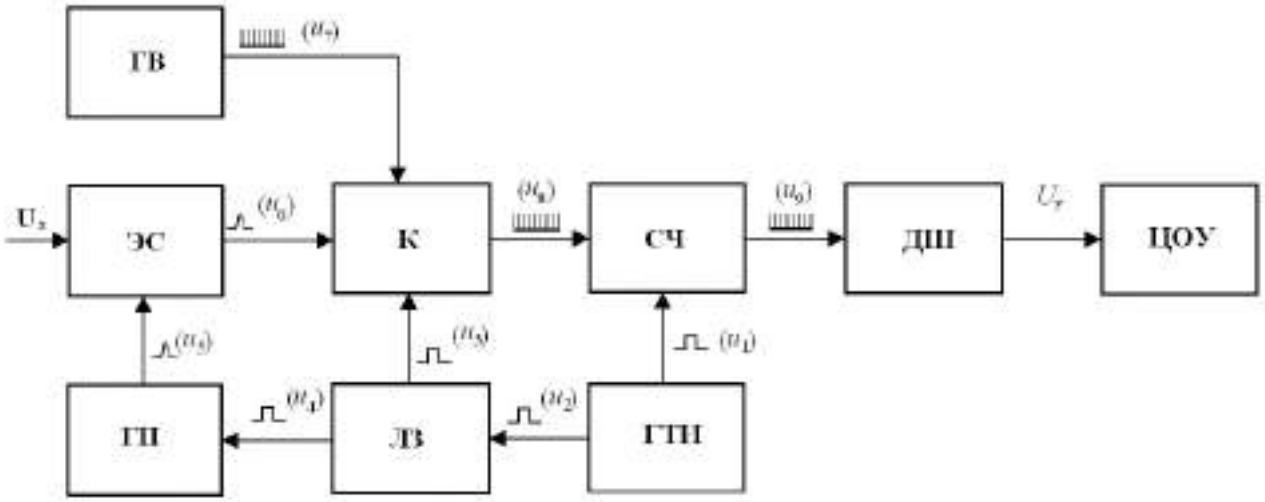


Рис. 20.2. Структурная схема времяимпульсного вольтметра:

ГТИ – генератор тактовых импульсов;
ЛЗ – линия задержки;
ДШ – дешифратор;
ЭС – элемент сравнения;
К– ключ;
СЧ – счетчик импульсов;
ГП – генератор пилообразного напряжения;
ЦОУ – цифровое отсчетное устройство;
ГВ – генератор высокочастотных импульсов;
U_x – измеряемое напряжение (постоянное или медленно меняющееся);
U_y – управляющее напряжение

Работа прибора протекает в следующей последовательности. Такт работе прибора задает генератор тактовых импульсов (ГТИ), вырабатывающий с заданной периодичностью прямоугольные импульсы u_1 и u_2. Импульс u_1 поступает на счетчик импульсов (СЧ) и переводит его в исходное состояние («сбрасывает на ноль»). Импульс u_2 поступает на линию задержки (ЛЗ). С некоторой задержкой (необходимой для перевода СЧ в исходное состояние) на выходе ЛЗ

появляются импульсы u_3 и u_4. Импульс u_3 поступает на ключ (к) и открывает его. Импульс u_4 поступает на генератор пилообразного напряжения (ГП) и запускает его. С выхода ГП пилообразное напряжение u_5 поступает на элемент сравнения (ЭС). Одновременно на ЭС подается измеряемое напряжение U_x. Через открытый ключ К высокочастотные импульсы u_7 поступают на СЧ. Счет импульсов счетчиком СИ продолжается до тех пор, пока напряжения U_x и u_5 не станут равны друг другу и ЭС не выработает импульс u_6, который закроет ключ К. Число импульсов, накопленное в счетчике СЧ, преобразуется дешифратором (ДШ) в управляющее напряжение U_y, воздействующее на цифровое отсчетное устройство (ЦОУ), с которого и производится отсчет результата измерения.

На рис. 20.3 приведены временные диаграммы, поясняющие работу рассматриваемого прибора. Быстродействие времяимпульсных вольтметров обычно составляет 10–15 измерений в секунду. В отдельных случаях быстродействие может достигать 50–60 измерений в секунду.

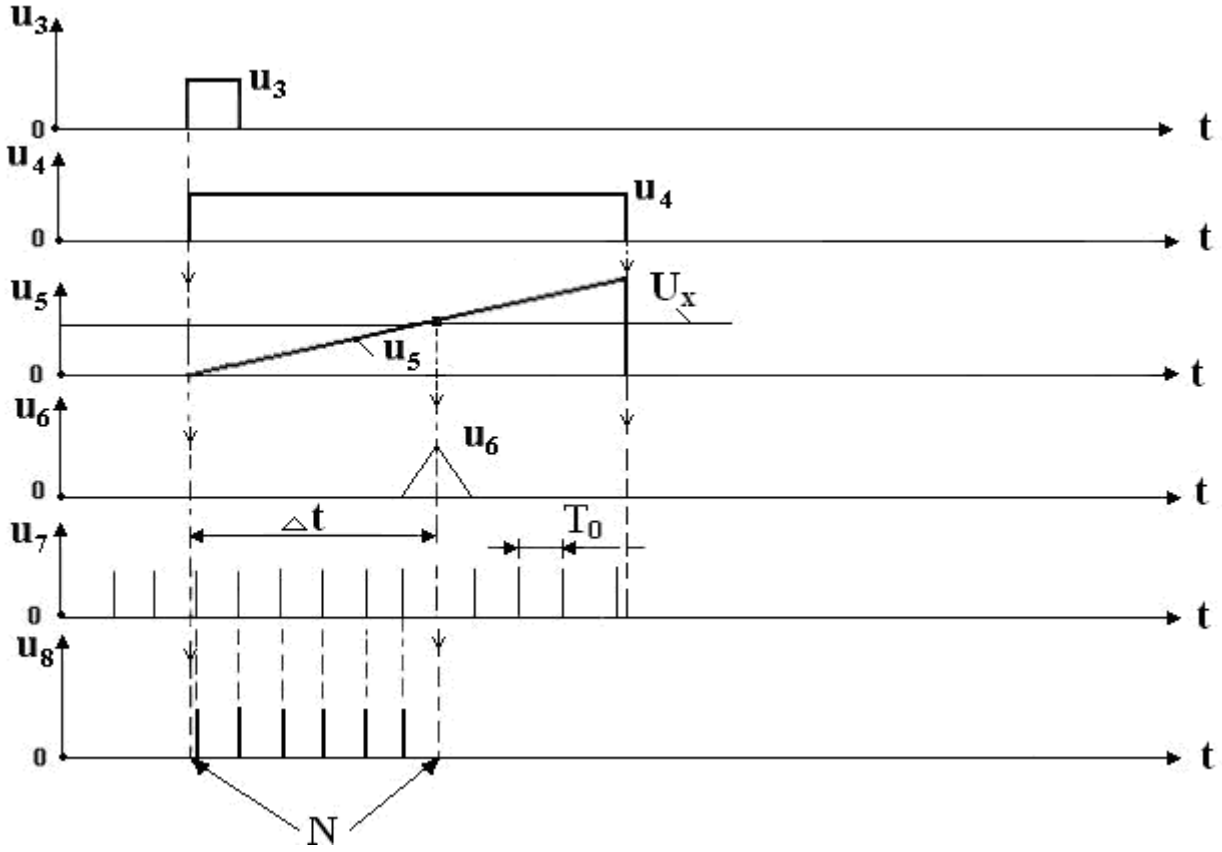


Рис. 20.3. Временные диаграммы

Отметим еще раз, что измеряемое напряжение преобразуется во временной интервал Δt, который заполняется импульсами, следующими с частотой $f_0 = 1/T_0$. Количество импульсов $N \approx \Delta t/T_0$ подсчитывается счетчиком и отображается на цифровом отсчетном устройстве прибора.

Времяимпульсные приборы имеют сравнительно большие погрешности. Это объясняется наличием погрешности дискретности из-за несовпадения появления счетных импульсов с началом и концом интервала Δt, а также за счет нелинейного коэффициента преобразования. Другим недостатком этих приборов является их низкая помехозащищенность, что требует применения специальных фильтров для подавления помех.

Промышленность выпускает ЦИП, построенные на описанном принципе. Все они имеют погрешности нисколько большие, чем цифровые приборы, построенные на других принципах. Например, погрешность универсального вольтметра типа ВК7-10А/1 при измерении постоянного напряжения составляет около 0,1–0,2 %.

20.3.2. Уравновешивающие вольтметры

В вольтметрах уравновешивающего преобразования (другое название – вольтметры сравнения) используется обратная связь, которая предполагает наличие в схеме цифро-аналогового преобразователя, преобразующего код (или число импульсов) в аналоговое напряжение. Существует несколько способов уравновешивания (сравнения) измеряемого напряжения с аналоговым напряжением обратной связи. Ниже рассмотрен уравновешивающий вольтметр с реверсивным счетчиком (рис. 20.4).

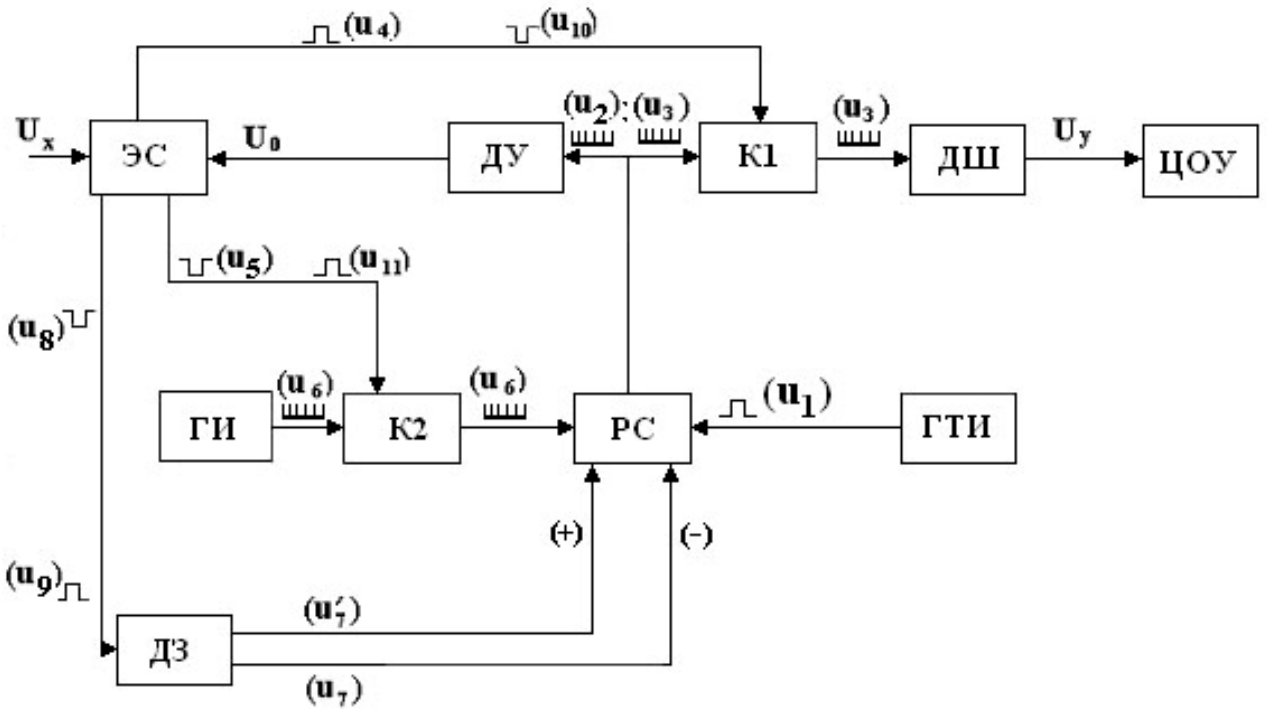


Рис. 20.4. Структурная схема уравновешивающего вольтметра с реверсивным счетчиком:

ЭС – элемент сравнения;
ДУ – декодирующее устройство;
К1, К2 – ключи;
ДШ – дешифратор;
ЦОУ – цифровое отсчетное устройство;
ГИ – генератор высокочастотных импульсов;
РС – реверсивный счетчик;
ГТИ – генератор тактовых импульсов;
ДЗ – дискриминатор знака;
U_x – измеряемое напряжение;
U_0 – компенсирующее напряжение;
U_y – управляющее напряжение

Работа вольтметра протекает в следующей последовательности. Генератор тактовых импульсов ГТИ выдает тактовый импульс u_1, который воздействует на реверсивный счетчик РС и тем самым запускает всю схему. РС выдает серию из импульсов на декодирующее устройство ДУ (u_2) и на ключ $K1$ ($u_3 = u_2$), сохранившихся в РС от предыдущих измерений. ДУ преобразует импульсное напряжение u_2 в аналоговое напряжение U_0 ($U_0 = f(N)$). Дальнейшая работа прибора зависит от соотношения напряжений U_0 и U_x. Здесь возможны три случая: $U_0 = U_x$; $U_0 > U_x$; $U_0 < U_x$.

Первый случай ($U_0 = U_x$). Элемент сравнения ЭС вырабатывает импульсы u_4 и u_5. Импульс u_4 открывает ключ K_1, напряжение U_3 в виде серии импульсов (число импульсов – N) через K_1 поступает на дешифратор ДШ и преобразуется в управляющее напряжение U_y. Напряжение U_y воздействует на цифровое

отсчетное устройство ЦОУ, с которого и производится считывание результатов измерений в цифровой форме (например: 127,3 mV; 4,856 V и т. д.)

Второй случай ($U_0 > U_x$). В этом случае ЭС вырабатывает импульсные сигналы u_8, u_{10}, u_{11}. Импульс u_{10} закрывает ключ K_1, и доступ импульсов на ДШ прекращается. Импульс u_{11} открывает ключ K_2, и высокочастотные импульсы u_6 с генератора импульсов ГИ через K_2 начинают поступать на РС. Импульс u_8 воздействует на дискриминатор знака $Д_3$, который вырабатывает коммутационное напряжение u_7, переводящее РС в режим вычитания. Благодаря режиму вычитания вновь поступающие на РС импульсы u_6 вычитаются из того, что уже было накоплено в реверсивном счетчике. Уменьшение числа импульсов в РС приводит к уменьшению их числа на входе ДУ и соответственно к уменьшению аналогового компенсирующего напряжения U_0. Уменьшение напряжения U_0 происходит до тех пор, пока оно не станет равно измеряемому напряжению U_x. При $U_0 = U_x$ повторяется работа прибора, описанная выше (первый случай).

Третий случай ($U_0 < U_x$). В этом случае ЭС вырабатывает импульсные сигналы u_9, u_{10}, u_{11}. Импульс u_{10} закрывает ключ K_1, и доступ импульсов на ДШ прекращается. Импульс u_{11}, ключ K_2 и высокочастотные импульсы u_6 с генератора импульсов ГИ через K_2 начинают поступать на РС. Импульс u_9 воздействует на дискриминатор знака $Д_3$, который вырабатывает коммутационное напряжение u_7, переводящее РС в режим суммирования. Благодаря режиму суммирования вновь поступающие на РС импульсы u_6 суммируются с теми импульсами, которые уже были накоплены в реверсивном счетчике. Увеличение числа импульсов в РС приводит к увеличению их числа на входе ДУ и соответственно к увеличению компенсирующего напряжения U_0. Увеличение U_0 происходит до тех пор, пока оно не станет равно измеряемому напряжению U_x. При $U_x = U_0$ повторяется уже описанная работа прибора (первый случай).

Приборы сравнения имеют повышенные метрологические характеристики. Их погрешность при измерении постоянного напряжения обычно не превосходит 0,01–0,05 %. Быстродействие этих приборов может достигать 500–600 измерений в секунду.

20.3.3. Электронно-счетные частотомеры

Цифровые частотомеры предназначены для измерения среднего или мгновенного значения частоты периодического сигнала, а также для измерения абсолютного или относительного отклонения частоты от номинального значения.

Электронно-счетные частотомеры, рассматриваемые в данном пункте учебного пособия, основаны на подсчете числа импульсов частотой f_x за интервал времени T_0 (рис. 20.5).

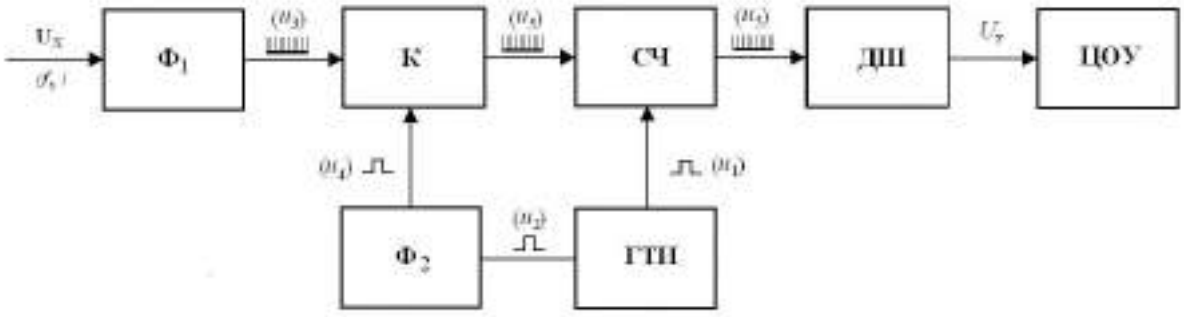


Рис. 20.5. Структурная схема электронно-счетного частотомера:

Ф1, Ф2 – формирователи;
К– ключ;
СЧ – счетчик импульсов;
ДШ – дешифратор;
ГТИ – генератор тактовых импульсов;
ЦОУ – цифровое отсчетное устройство;
f_x – измеряемая частота

На временных диаграммах показаны напряжения на входе (U_x) и на выходе отдельных элементов схемы (u_3, u_4, u_5). Эти же (и другие) напряжения показаны на структурной схеме (см. рис. 20.5).

Запуск прибора осуществляет генератор тактовых импульсов ГТИ, вырабатывающий импульсные напряжения u_1 и u_2. Импульс u_1 переводит счетчик СЧ в исходное состояние (срабатывает на «ноль»). Импульс u_2 воздействует на формирователь Ф2, который вырабатывает нормированный импульс u_4 с длительностью T_0 (рис. 20.5 и 20.6). Импульс u_4 подается на ключ K и открывает его на время T_0.

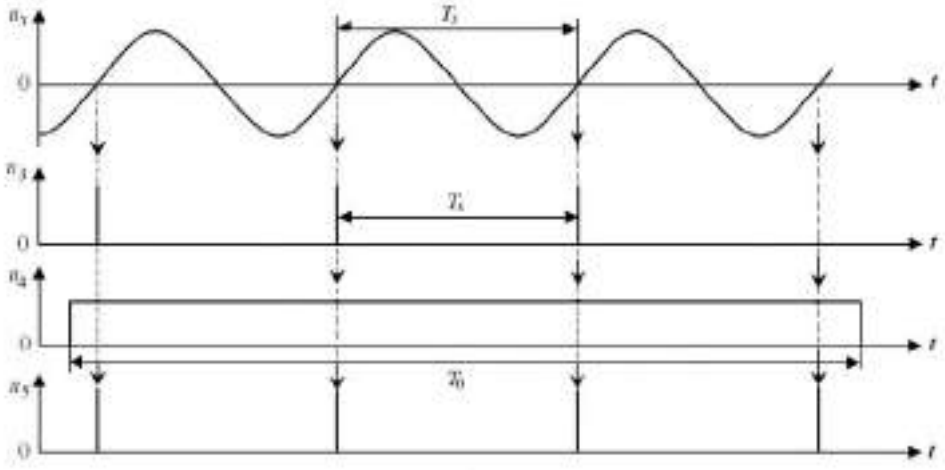


Рис. 20.6. Временные диаграммы работы электронно-счетного устройства

Периодическое напряжение U_x (его частота f_x измеряется) подается на формирователь Φ_1, который формирует импульсное напряжение u_3, подаваемое на ключ К. Отметим, что Φ_1 вырабатывает один импульс в начале каждого периода входного напряжения. Импульсы u_3 «проходят» через ключ К, пока действует импульс u_4. На счетчик импульсов СЧ подается серия импульсов u_5, число которых N зависит от длительности импульса u_4 (T_0) и периода входного напряжения (T_x):

$$N = \frac{T_0}{T_x} = T_0 f_x, \qquad (20.3)$$

где $f_x = \dfrac{1}{T_x}$ – частота входного напряжения.

Напряжение u_5, содержащее N импульсов сосчитанных СЧ, подается на дешифратор ДШ. Последний преобразует его в управляющее напряжение U_y, воздействующее на цифровое отсчетное устройство ЦОУ. ЦОУ индицирует результат измерения в цифровой форме.

Если длительность интервала T_0 = 1 с, то число N дает непосредственное значение измеряемой частоты. В практических схемах частотомеров также предусматривается возможность задания других значений T_0 из ряда $T_0 = 10^m$ с, где m – целое положительное или отрицательное число. Это дает возможность измерять кратные или дольные значения f_x.

Погрешность прибора складывается из погрешности задания T_0 и погрешности дискретности. Благодаря использованию кварцевой стабилизации погрешность задания T_0 не превосходит 10^{-7} % (этой погрешностью обычно пренебрегают). Погрешность дискретности, возникающая в процессе квантования временного интервала, как правило, существенна, и ее необходимо учитывать.

$$\delta_g = \pm \frac{1}{T_0 \cdot f_x} \cdot 100\%, \qquad (20.4)$$

где δ_g – относительная погрешность дискретности;

T_0, f_x – определены выше.

Очевидно, что с увеличением временного интервала T_0 и значения измеряемой частоты f_x погрешность дискретности уменьшается. Например, при T_0 = 1 с и f_x = 500 Гц $д_g$ = ±0,2 %; при T_0 = 1 с и f_x = 5000 Гц $д_g$ = ±0,02 %; при T_0 = 10 с и f_x = 5000 Гц $д_g$ = ±0,002 %.

При измерении низких частот погрешность дискретности становится определяющей и ограничивает точность измерений. Для снижения $д_g$ можно задавать большие T_0, однако это заметно увеличивает время измерения. Например, при измерении частоты промышленной сети (f_x = 50 Гц) для снижения $д_g$ до 0,02 % необходимо задать T_0 = 100 с. Для низкочастотных сигналов более рациональным оказывается измерение периода исследуемого напряжения.

20.3.4. Измерители временных интервалов

В измерителях временных интервалов (хронометрах) временной интервал (в том числе и период исследуемого напряжения) может быть измерен путем подсчета числа импульсов стабильной частоты $f_0 \left(f_0 = \frac{1}{T_0} \right)$, прошедших за измеряемое время T_x. В качестве примера ниже рассмотрен измеритель периодов (рис. 20.7).

При измерении временных интервалов вместо периодического напряжения u_x на формирователь Ф подаются импульсные напряжения $u_н$ (старт-импульс) и $u_к$ (стоп-импульс). Старт-импульс запускает формирователь, а стоп-импульс его останавливает. В результате вырабатывается импульс T_x, длитель-

ность которого равна длительности измеряемого временного интервала. Отметим, что $u_н$ и $u_к$ показаны на рис. 20.7 пунктиром, при измерении периода напряжения $u_х$ они не используются (вместо них на Ф подается $u_х$).

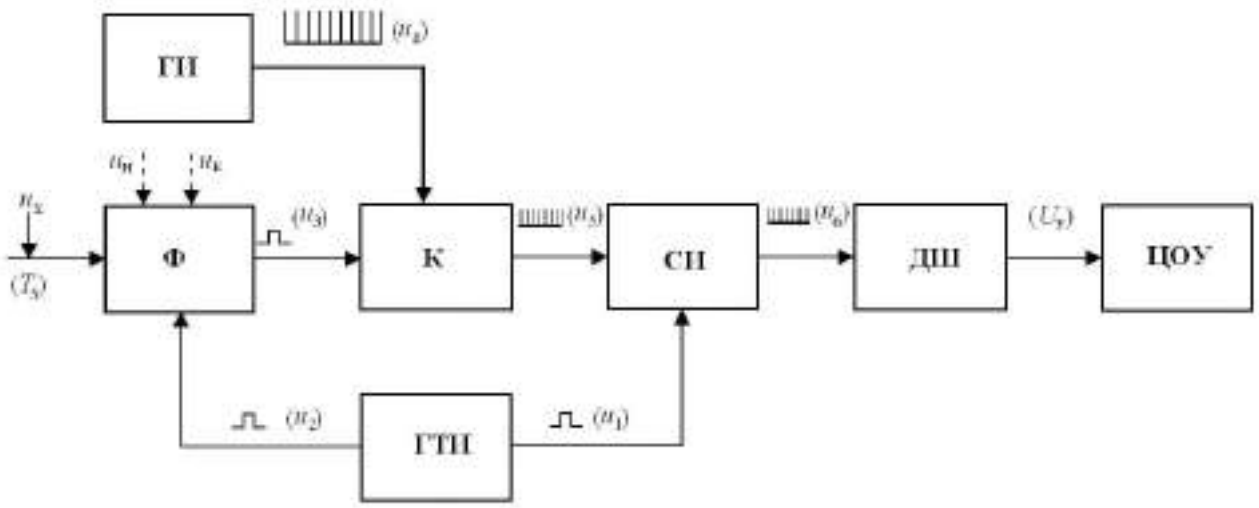


Рис. 20.7. Структурная схема измерителя периодов:

ГИ – стабильный генератор высокоточных импульсов;
Ф – формирователь;
К – ключ;
СЧ – счетчик импульсов;
ДШ – дешифратор;
ЦОУ – цифровое отсчетное устройство;
ГТИ – генератор тактовых импульсов;
$u_х$ – напряжение с периодом $T_х$

Рассмотрим работу измерителя периодов более детально. Запуск прибора осуществляет ГТИ, вырабатывающий импульсные напряжения u_1 и u_2. Импульс u_1 «сбрасывает» СЧ на ноль, а импульс u_2 воздействует на формирователь Ф, который вырабатывает импульс u_3. Длительность импульса u_3 равна $T_х$ и соответствует периоду исследуемого напряжения (рис. 20.8). Импульс u_3 подается на ключ К и открывает его на время $T_х$. Одновременно на К подается высокочастотное импульсное напряжение u_4 со стабильной частотой $f_0 = \frac{1}{T_0}$. Напряжение u_5 с выхода ключа подается на СЧ. Число импульсов N, содержащееся в u_5 и сосчитанное СЧ, зависит от $T_х$ и $T_0 = \frac{1}{f_0}$.

$$N = \frac{T_x}{T_0} = T_x \cdot f_0 . \qquad (20.5)$$

Напряжение u_6 со счетчика импульсов подается на ДШ и преобразуется в управляющее напряжение U_y, которое воздействует на цифровое отсчетное устройство ЦОУ. ЦОУ индицирует результат измерения в цифровой форме.

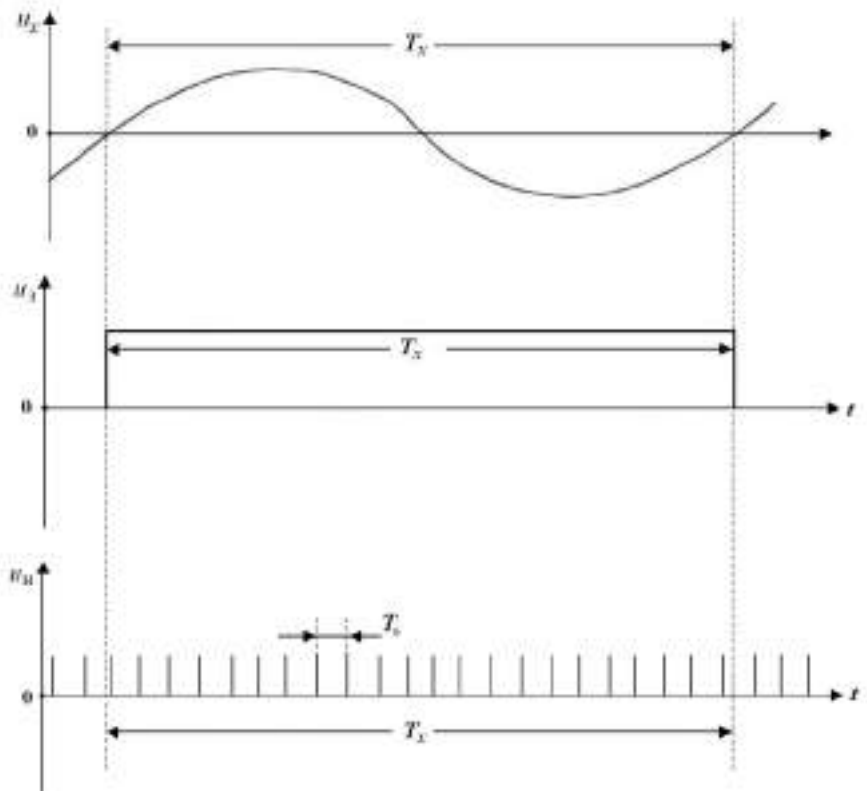


Рис. 20.8. Временные диаграммы работы измерителя периодов

Значение частоты f_0 целесообразно выбрать из ряда возможных значений, определяемых равенством $f_0 = 10^m$ Гц, где m – положительное целое число. Тогда число импульсов N совпадает со значением T_x, выраженным в секундах или дольных единицах секунды.

Погрешности цифрового периодомера определяются нестабильностью частоты f_0 генератора ГИ и дискретностью квантования T_x. Погрешность за счет нестабильности f_0 мала (обычно не более 10^{-7} %), и ею, как правило, пренебрегают. Погрешность дискретности $д_g$ чаще всего существенна, и ее необходимо учитывать.

$$\delta_g = \pm \frac{1}{T_x \cdot f_0} \cdot 100\% = \pm \frac{T_0}{T_k} \cdot 100\%, \qquad (20.6)$$

где δ_g – относительная погрешность дискретности;

T_0, T_x, f_0 – определены выше.

Очевидно, что с уменьшением $T_0 = \frac{1}{f_0}$ и увеличением T_x погрешность дискретности уменьшается. Например, при f_0 = 10 кГц и T_x = 0,1 с δ_g =±0,1 %; при f_0 = 100 кГц и T_x = 0,1 с $д_g$ = ±0,01 %; при f_0 = 100 кГц и T_x = 1 с δ_g = ±0,001 %.

Измерители периода иногда используются для измерения низких частот. Недостатком такого измерения является необходимость пересчета показаний периодомера в частоту (по формуле $f_x = \frac{1}{T_x}$).

В цифровых частотомерах и периодомерах используются одни и те же функциональные узлы, что позволяет выпускать универсальные приборы, предназначенные для измерения частоты, периода, интервалов времени, отношения двух частот и числа импульсов.

20.3.5. Измерители разности фаз

В измерителях разности фаз (цифровых фазометрах) используется преобразование фазового сдвига в соответствующий интервал времени, а также измерение этого интервала цифровым методом. Цифровые фазометры могут предназначаться для измерения мгновенных значений сдвига фаз и для измерения среднего значения сдвига фаз. Ниже рассмотрены цифровой фазометр мгновенных значений (рис. 20.9) и диаграммы напряжений этого фазометра (рис. 20.10)

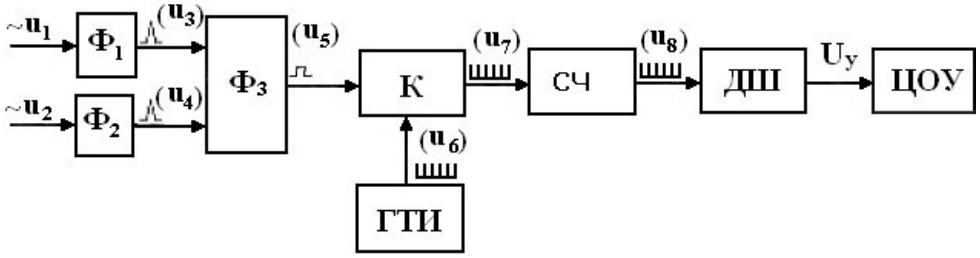


Рис. 20.9. Упрощенная структурная схема цифрового измерителя разности фаз:

$Ф_1$, $Ф_2$, $Ф_3$ – формирователи;
К– ключ;
ЦОУ – цифровое отсчетное устройство;
ДШ – дешифратор;
СЧ – счетчик импульсов;
u_1 и u_2 – периодические входные напряжения, между которыми измеряется сдвиг по фазе;
ГТИ – генератор стабильных высокочастотных импульсов

Напряжения u_1 и u_2 поступают на формирователи Φ_1 и Φ_2, которые вырабатывают импульсы u_3 и u_4, соответствующие моментам перехода входных сигналов через ноль (импульсы u_3 и u_4 вырабатываются один раз за период напряжений u_1 и u_2, см. рис. 20.9 и 20.10). Импульсы u_3 и u_4 воздействуют на формирователь Φ_3 (первый как старт-импульс, а второй как стоп-импульс), на выходе которого образуется импульс u_5 с длительностью T_x, соответствующей измеряемому фазовому сдвигу α. Импульс u_5 открывает ключ К на интервал времени T_x, и в течение этого времени через К на счетчик импульсов СИ с генератора ГТИ поступают импульсы. Частота поступающих импульсов $f_0 = \frac{1}{T_0}$. Число импульсов N, сосчитанное СЧ, определяется соотношением (рис. 20.10)

$$N = \frac{T_x}{T_0}. \qquad (20.7)$$

Измеряемый фазовый сдвиг φ

$$\varphi = K \cdot N \qquad (20.8)$$

где K – коэффициент пропорциональности.

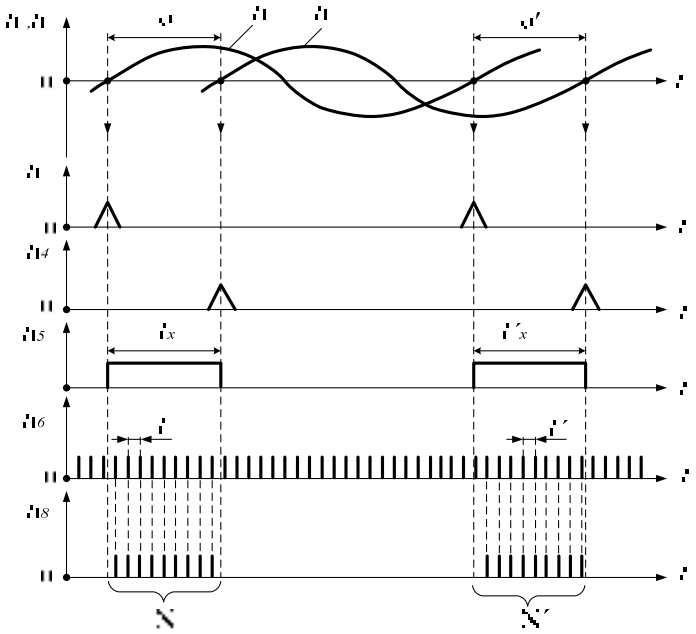


Рис. 20.10. Временные диаграммы измерителя разности фаз

Напряжение u_8 с выхода счетчика СЧ, содержащее N импульсов, подается на дешифратор ДШ, преобразуется в управляющее напряжение U_y и индицируется на ЦОУ в цифровой форме.

Составляющие погрешности прибора: погрешность квантования интервала T_x импульсами с частотой $f_0 = \frac{1}{T_0}$; погрешность задания частоты $f_0 = \frac{1}{T_0}$; погрешность от неточности формулирования и передачи напряжений u_3, u_4 и временного интервала T_x. Суммарная погрешность цифровых фазометров обычно не превосходит $\pm 0{,}3^0$ в широком частотном диапазоне.

20.4. Мультиметры

Термин «мультиметр» обычно используется для наименования универсальных цифровых измерительных приборов (ЦИП). Также приборы обычно имеют в своем составе встроенные микропроцессоры. Вместе с тем, терминология в области ЦИП еще окончательно не установилась, и аналогичные некоторые отечественные приборы с микропроцессорами или без них называют универсальными вольтметрами (например, прибор В7-34, имеющий в своем составе микропроцессор, официально именуется «Вольтметр универсальный цифровой»). Соответствующие импортные приборы всегда назывались мультиметрами, и этот термин постепенно приобретает признание как в отечественной литературе, так и в практической деятельности. Он используется и в настоящем учебном пособии.

Цифровые мультиметры применяются для измерения постоянных и переменных токов, постоянных и переменных напряжений, сопротивлений резисторов, частоты электрических колебаний и т .д.

На микропроцессоры в ЦИП возлагаются следующие функции:

1) управление процессом аналого-цифрового и цифроаналогового преобразования;

2) управление работой преобразователей различных физических величин в электрические (для последующего их измерения);

3) автоматический выбор пределов измерения;

4) управление приборным интерфейсом;

5) управление цифровыми отсчетными устройствами;

6) статистическая обработка результатов измерений;

7) автоматическая коррекция систематических погрешностей и автокалибровка;

8) диагностика неисправностей.

Наличие в составе мультиметров микропроцессоров повышает надежность ЦИП, значительно улучшает их метрологические и эксплуатационные характеристики. Вместе с тем наметившаяся тенденция в развитии цифровой измерительной техники приводит к резкому повышению стоимости цифровых приборов (стоимость цифровых приборов, как правило, в 2–3 раза выше стоимости компьютеров). Высокая цена затрудняет широкое применение ЦИП, альтернативой которым может быть расширение использования аналоговых измерительных приборов (электромеханических и электронных), а также применение измерительно-компьютерных систем.

21. ИЗМЕРИТЕЛЬНО-КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

В настоящее время сформировалось новое направление в измерительной технике – измерительно-компьютерные системы (ИКС).

ИКС представляет собой имеющий соответствующее программное обеспечение персональный компьютер, в состав которого введена специальная измерительная плата.

ИКС заменяет стандартные измерительные приборы (вольтметры, осциллографы, генераторы и т. д.) системой виртуальных средств измерений (или виртуальных приборов). Причем на одном компьютере может быть одновременно или поочередно воспроизведен целый ряд стандартных измерительных приборов.

К преимуществам измерительно-компьютерных систем следует отнести:

1) наличие стандартных программ, что позволяет решать широкий круг прикладных задач (сбор и обработку данных, исследование полученных результатов, выработку управляющих сигналов и т. д.);

2) наличие внутренней и внешней памяти компьютеров, позволяющей накапливать и хранить большой объем измерительной информации;

3) наличие компьютерных сетей (локальных и глобальных), позволяющих оперативно передавать результаты измерений и исследований;

4) наличие возможности составлять компьютерные программы для решения конкретных измерительных задач;

5) наличие в составе компьютеров аналоговых (графопостроители) и цифровых (принтеры) регистрирующих устройств, позволяющих оперативно документировать результаты измерений;

6) меньшая стоимость измерений (по сравнению со стоимостью измерений с помощью отдельных цифровых измерительных приборов).

На рис. 21.1 приведена упрощенная структурная схема ИКС.

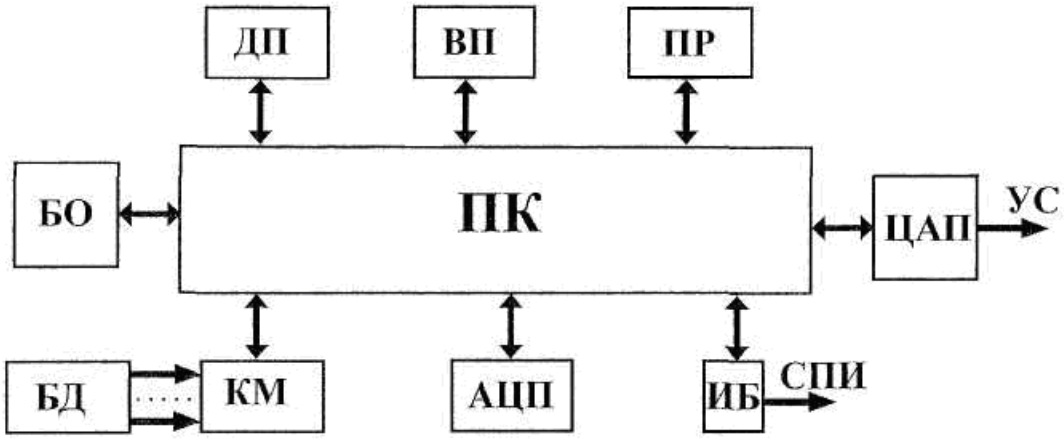


Рис. 21.1 Упрощенная структурная схема измерительно-компьютерной системы:

ПК – персональный компьютер;
ДП – дисплей;
ВП – внутренняя память;
ПР – принтер;
БО – блок образцовых мер;
БД – блок датчиков;
КМ – коммутатор;
АЦП – аналого-цифровой преобразователь;
ИБ – интерфейсный блок;
СПИ – сигнал приборного интерфейса;
ЦАП – цифроаналоговый преобразователь;
УС – управляющий сигнал

Основу ИКС составляет персональный компьютер ПК, через который взаимодействуют друг с другом все элементы системы: дисплей, внешняя память, принтер, коммутатор, АЦП, блок образцовых программно-управляемых

мер (меры напряжения, сопротивления, частоты и т. д.). ЦАП позволяет вырабатывать (если требуется для решения поставленной задачи) аналоговые управляющие сигналы. Интерфейсный блок (ИБ) осуществляет подключение к магистрали приборного интерфейса. Коммутатор (КМ) обеспечивает подключение аналоговых сигналов (обычно в виде напряжений) от блока датчиков (БД). С помощью БД осуществляется преобразование (при необходимости) и подача на ИКС измеряемых величин. ИКС могут быть специализированными и универсальными. Специализированные ИКС предназначены для измерения какой-либо одной физической величины (например, только постоянного напряжения или только температуры). Универсальные ИКС – для измерения нескольких физических величин (например, постоянного и переменного напряжения, постоянного и переменного тока, частоты, температуры, давления и т.д.).

Одним из элементов ИКС является блок образцовых мер (БО). В качестве образцовых мер чаще всего используются образцовые меры (ОМ) напряжения и частоты. Обычно образцовыми мерами напряжения являются термостатированные стабилитроны, а в качестве образцовых мер частоты применяются кварцевые генераторы. В последнее время в ИКС стала использоваться возможность компенсировать температурную нестабильность ОМ программными методами. Предусматривается также возможность компенсации влияния температуры на параметры различных элементов ИКС, например на такие, как усилители постоянного тока, переключатели и т. п. Непрерывный контроль температуры отдельных элементов и блоков ИКС (с помощью специальных температурных датчиков и программных средств) позволяет автоматически корректировать возникающие погрешности измерений.

Измерительно-компьютерные системы являются своеобразными виртуальными приборами. Программная часть такого виртуального прибора создает на экране дисплея компьютера виртуальную панель управления обычного (реального) измерительного прибора. Такая панель с виртуальными кнопками, ручками, переключателями становится панелью управления виртуального прибора. С помощью клавиатуры, мыши или специализированной прикладной про-

граммы оператор воздействует на панель управления, выбирая измеряемую величину, режим работы виртуального прибора и выполняя другие необходимые операции для проведения измерения. Результат измерения выводится на дисплей компьютера и, если требуется, на принтер или графопостроитель. В зависимости от используемой измерительной платы и программного обеспечения пользователь получает виртуальный прибор под ту или иную задачу. При этом может быть реализован виртуальный осциллограф, виртуальный вольтметр, виртуальный термометр и т. д. Соответственно на дисплей компьютера выводится осциллограмма исследуемых сигналов (если реализован осциллограф), значение напряжения (если реализован вольтметр) или значение температуры (если реализован термометр) в цифровой форме.

Отметим еще раз преимущество виртуальных приборов перед микропроцессорными цифровыми приборами. Виртуальные приборы дают пользователю доступ к обширным объемам прикладных программ, к внешней памяти большой емкости и к различным устройствам документирования результатов измерений. Виртуальные приборы имеют высокую экономическую эффективность: практически любая измерительная плата и компьютерная программа по обработке информации намного дешевле стандартного цифрового измерительного прибора со встроенным микропроцессором.

Сочетание измерительной платы, специализированной программы и персонального компьютера представляет пользователю новые возможности, недостижимые автономными измерительными приборами [1; 2; 33; 34; 36–38].

22. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ

22.1. Общие положения

Измерение силы электрического тока (в дальнейшем – измерение тока) является одной из наиболее распространенных операций в области электрических измерений. Измерение токов может проводиться аналоговыми электромеханическими приборами различных систем, аналоговыми электронными приборами, цифровыми измерительными приборами (ЦИП) [1; 2; 6]. Кроме того,

для измерения тока могут быть использованы виртуальные приборы (ВП), появившиеся в последнее время и реализуемые с помощью компьютеров (см. гл. 21 в настоящем учебном пособии и соответствующие разделы в учебниках [2; 6]).

Выбор средства измерения (для измерений тока) определяется совокупностью факторов: значением измеряемой величины, родом тока, требуемой точностью, условиями измерений и т. д. Приборы для измерения тока принято называть *амперметрами*. Если требуется подчеркнуть значение измеряемого тока, то это отражается в названии прибора. Так, например, приборы для измерения больших токов именуются *килоамперметрами*, малых токов – *миллиамперметрами* или *микроамперметрами* и т. д.

Измерение тока может осуществляться прямыми, косвенными или компенсационными методами. Каждый из перечисленных методов измерений обладает определенной методической погрешностью (см. параграф 2.4 в данном учебном пособии).

Диапазон измеряемых токов весьма широк. Например, при биологических исследованиях измеряемые токи могут составлять доли наноампер, а на металлургических предприятиях измеряемые токи могут достигать многих тысяч ампер. Для расширения пределов измерения приборов применяют шунты и измерительные трансформаторы, которые рассматриваются в последующих паранрафах учебного пособия. Использование шунтов и трансформаторов позволяет строить многопредельные приборы, которые позволяют измерять токи в широком диапазоне.

Косвенным показателем большей или меньшей пригодности используемого амперметра для измерения тока в исследуемой цепи является значение мощности, потребляемое этим амперметром:

$$P_A = I_A^2 R_A, \qquad (22.1)$$

где P_A – мощность, потребляемая амперметрами из измерительной цепи;

I_A – измеряемый ток;

R_A – сопротивление амперметра.

Погрешность от искажения режима работы исследуемой цепи тем меньше, чем меньше мощность P_A, определяемая соотношением (22.1).

22.2. Измерение постоянного тока

Для измерения постоянного тока используются аналоговые электромеханические приборы (магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические), аналоговые электронные и цифровые измерительные приборы.

Из электромеханических приборов наибольшее распространение для измерения постоянных токов получили приборы магнитоэлектрической системы. При непосредственном включении этих приборов их можно нагружать токами только до 40–50 мА. При больших токах повреждаются токопроводы к обмотке рамки магнитоэлектрического измерителя или выходит из строя сама обмотка рамки, выполняемая, как правило, тонким проводом.

Для измерения токов, больших 40–50 мА, магнитоэлектрические измерительные механизмы используются совместно с шунтами, которые включаются параллельно измерительному механизму (рис. 22.1). Электромеханические приборы других систем с шунтами не используются.

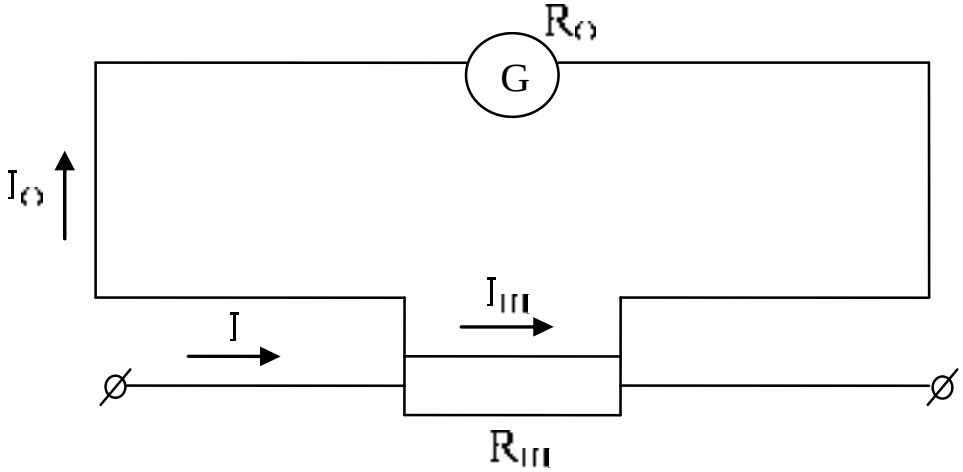


Рис. 22.1. Схема включения шунта:
$R_Ш$ – сопротивление шунта; G – магнитоэлектрический измерительный механизм;
R_0 – сопротивление измерительного механизма G; I – измеряемый ток;
$I_Ш$ – ток через шунт; I_0 – ток через измерительный механизм G

Сопротивление шунта $R_Ш$ выбирают таким, чтобы большая часть измеряемого тока I протекала по шунту, а остальная часть тока не превышала бы допустимого для измерителя значения.

Отношение токов I / I_0 обозначают n и называют *коэффициентом шунтирования*. Значение измеряемого тока $I = n \bullet I_0$, где n – целое число (n = 2; 5; 10 и т. д.). Шунты обычно изготавливают из манганина – сплава с малым температурным коэффициентом сопротивления. Типичная конструкция шунта приведена на рис. 22.2.

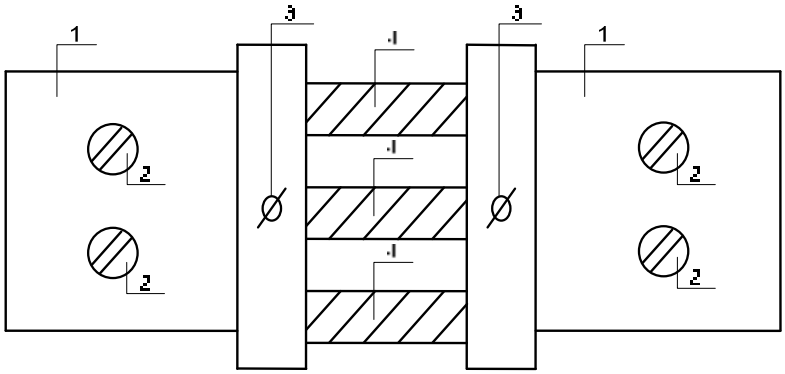


Рис. 22.2. Типичная конструкция шунта:
1 – массивные медные пластины; 2 – токовые зажимы;
3 – потенциальные зажимы; 4 – манганиновые пластины

С помощью зажимов 2 шунт включается в исследуемую цепь, а к зажимам 3 подключается магнитоэлектрический измерительный механизм.

Сопротивление шунта определяется из следующих равенств (см. рис. 22.1):

$$I_{Ш}R_{Ш} = I_0R_0, \tag{22.2}$$

$$I = nI_0, \tag{22.3}$$

$$I_{Ш} = I–I_0 = nI_0–I_0, \tag{22.4}$$

где n – коэффициент шунтирования.

Подставляя в (22.2) значение тока $I_{Ш}$, определяемое соотношением (22.4), получим

$$I_0(n–1)R_{Ш} = I_0R_0, \tag{22.5}$$

откуда сопротивление шунта

$$R_{Ш} = \frac{R_0}{n-1},$$

где R_0, n – определены выше.

Шунты для измерения сравнительно небольших токов (до 30 А) монтируются в корпусе прибора и называются *внутренними*. Токи от 30 до 7500 А

измеряют с помощью наружных шунтов. Шунты могут быть однопредельными и многопредельными.

Шунты делятся на *индивидуальные*, пригодные только для того измерительного механизма, с которым проградуированы, и *калиброванные*, рассчитанные на определенные номинальные токи и определенные номинальные падения напряжения. Калиброванные шунты изготавливают обычно на номинальные напряжения 75 и 100 мВ, но могут быть шунты на другие номинальные напряжения (например, на 30, 45, 60, 150 или 300 мВ). Сопротивление шунта можно определить по закону Ома делением номинального напряжения на номинальный ток. В зависимости от точности изготовления шунты делятся на классы 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0. При подключении шунта температурная погрешность измерения тока возрастает. Для ее уменьшения используются разные способы температурной компенсации. Например, может использоваться включение в цепь измерителя терморезистора с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления.

В прил. 9 приведены технические характеристики некоторых стандартных шунтов.

Шунты используются при измерении токов до 7,5 кА. При измерении токов от 7,5 до 150 кА используются трансформаторы постоянного тока (рис. 22.3).

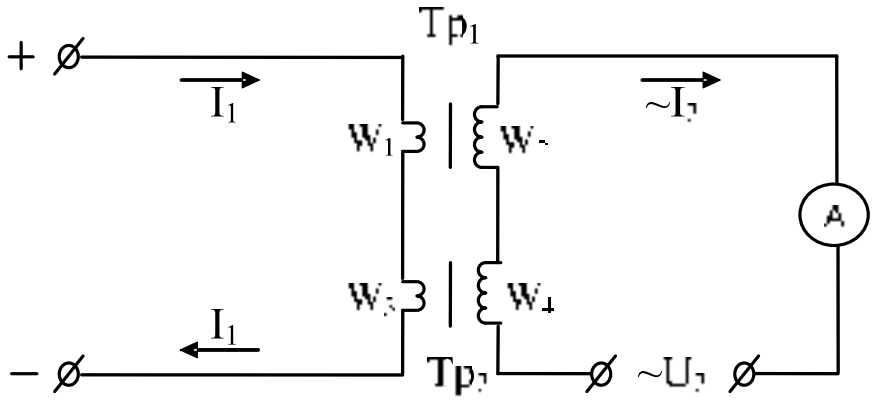


Рис. 22.3. Упрощенная схема включения трансформатора постоянного тока:
I_1 – измеряемый ток; $Тр_1$, $Тр_2$ – трансформаторы; $W_1 = W_3$ – первичные обмотки трансформаторов; $W_2 = W_4$ – вторичные обмотки трансформаторов;
U_2 – вспомогательное переменное напряжение;
I_2 – переменный ток во вторичном контуре

Трансформаторы $Тр_1$, $Тр_2$ имеют идентичные ферромагнитные сердечники из магнитомягкого материала с большой магнитной проницаемостью. Первичные обмотки трансформаторов включены встречно для компенсации в них ЭДС, возникающих при протекании тока I_2 по вторичным обмоткам трансформаторов (вторичные обмотки включены между собой согласно).

Значение тока во вторичном контуре:

$$I_2 = \frac{U_2}{\sqrt{R_2 + (\omega L_2)^2}} \qquad (22.7)$$

где R_2 – активная составляющая вторичной цепи;

$\omega = 2\pi f$ – угловая частота;

f – циклическая частота;

L_2 – суммарная индуктивность обмоток трансформаторов.

Индуктивность L_2 зависит от магнитной проницаемости μ_a сердечников трансформаторов $Тр_1$ и $Тр_2$ (при постоянстве всех других параметров). В свою очередь, значение μ_a зависит от степени насыщения ферромагнитных сердечников трансформаторов магнитными потоками, создаваемыми измеряемым постоянным током I_1 при его протекании по первичным обмоткам трансформаторов W_1 и W_2 .

Таким образом, можно сделать вывод, что индуктивность L_2 зависит от тока I_1. Зависимость $L_2 = f(I_1)$ приведена на рис. 22.4.

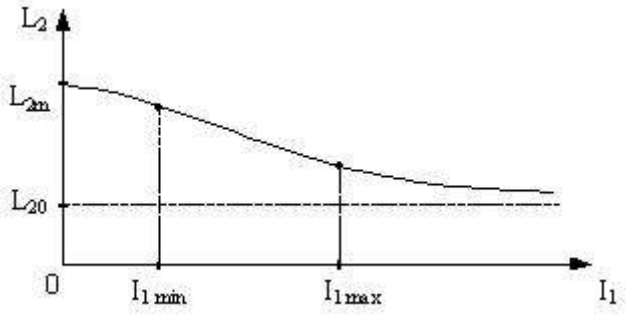


Рис. 22.4. Зависимость индуктивности обмоток трансформаторов от измеряемого тока

При изменении L_2 и при постоянстве U_2, R_2 и w (см. соотношение (22.7)) изменяется ток I_2 во вторичном контуре. Причем рост I_1 приводит к уменьшению L_2, а уменьшение L_2 – к росту тока I_2. При изменении I_1 от некоторого ми-

нимального значения I_{1min} до некоторого максимального значения I_{1max} справедливо равенство

$$I_2 = kI_1 \qquad (22.8)$$

где k – коэффициент трансформации ($k >> 1$).

Коэффициент трансформации k нормируется и примерно постоянен в диапазоне измерений.

Благодаря постоянству (в пределах нормируемой погрешности) коэффициента k, амперметр А, измеряющий ток вторичного контура I_2, может быть проградуирован непосредственно в значениях искомого тока I_1, что обычно и используется в стандартных приборах с трансформаторами постоянного тока. Характеристики одного из устройств на основе трансформаторов постоянного тока приведены в прил. 10.

Пределы измерения постоянных токов приборами разных типов приведены в табл. 22.1.

Таблица 22.1

Пределы измерения постоянных токов

Типы приборов	**Пределы измерения, А**				
	Наименьшее значение	**Наибольшее значение**			
		прямое включение	**с внутренним шунтом**	**с внешним шунтом**	**с трансформатором постоянного тока**
Цифровые	10^{-17}	–	10	$7{,}5 \cdot 10^{3}$	–
Электронные аналоговые	$5 \cdot 10^{-17}$	–	1	10	–
Магнито-электрические	$3 \cdot 10^{-17}$	0,05	30	$7{,}5 \cdot 10^{3}$	$1{,}5 \cdot 10^{5}$
Электромагнитные	$5 \cdot 10^{-3}$	200	–	–	–
Электродинамические	$5 \cdot 10^{-3}$	10	–	–	–

Погрешность измерения постоянного тока в большой степени зависит от его значения (рис. 22.5).

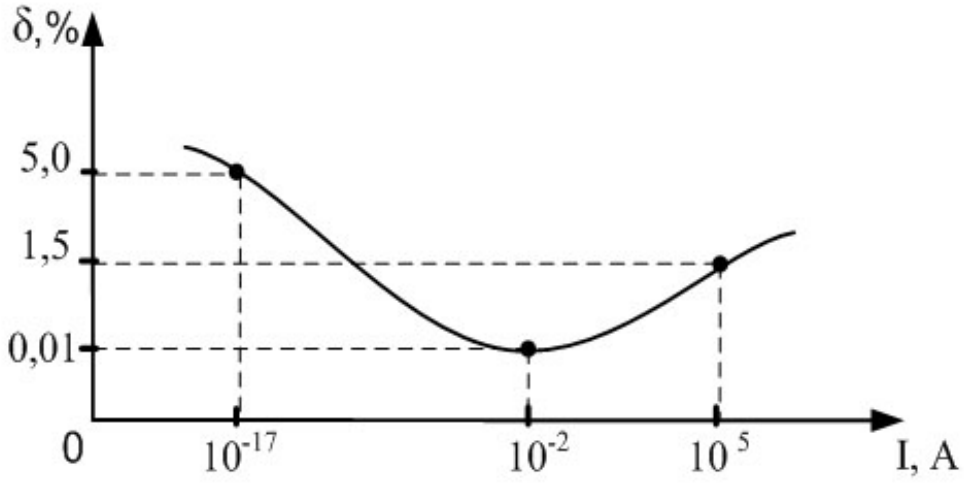


Рис. 22.5. Зависимость погрешности измерения постоянного тока от его значения:
δ – относительная погрешность измерения; *I* – значения измеряемого тока

Для наглядности на рис. 22.5 использован переменный масштаб по обеим осям координат.

Приведенный рисунок свидетельствует, что наименьшая погрешность достигается при измерении токов от 1 до 100 мА (примерно при 10 мА). Погрешность растет с ростом тока (при $I > 100$ мА) и особенно значительно возрастает при измерении малых токов (при $I < 1$ мА). Отметим, что рассматриваемая зависимость $\delta = f(I)$ правомерна для рабочих средств измерений.

В качестве примера в табл. П. 5.1 приведены технические характеристики универсальных вольтметров, позволяющих измерять постоянные токи в широком диапазоне их значений.

22.3. Измерение переменного тока

Для измерения переменного тока используются аналоговые электромеханические приборы (электромагнитные, электродинамические, реже – индукционные), аналоговые электронные и цифровые измерительные приборы. Наибольшее распространение получили приборы электромагнитные, электродинамические, аналоговые электронные и цифровые. Для измерений могут также использоваться компенсаторы переменного тока, электронные осциллографы,

регистрирующие устройства, универсальные, комбинированные и виртуальные приборы.

Приборы для измерения переменных токов, аналогично приборам для измерения постоянных токов, именуются (в зависимости от значения измеряемой величины) амперметрами, микроамперметрами, миллиамперметрами или килоамперметрами.

Для синусоидального тока можно записать:

$$I(t) = I_{\text{m}}\sin\omega t \qquad (22.9)$$

где $i(t)$ – мгновенное значение тока;

I_{m} – амплитудное значение тока;

$\omega = 2\pi f$ – угловая частота;

f – циклическая частота;

t – время.

Как следует из (22.9), переменный ток может быть полностью представлен мгновенными значениями в любой момент времени. Это измерение можно осуществить с помощью электронного осциллографа или регистратора. Переменные токи могут быть охарактеризованы своими отдельными параметрами (например, амплитудным значением) или интегральными параметрами, в качестве которых используются действующие значения (см. (22.10)) и средние значения (см. (22.11)) тока.

$$I = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T [i(t)]^2\,dt} \qquad (22.10)$$

$$I_{ср} = \frac{1}{T}\int_0^T i(t)dt \qquad (22.11)$$

где I – действующее значение измеряемого переменного тока;

$I_{\text{ср}}$ – среднее значение измеряемого переменного тока;

T – период измеряемого тока ($T = \frac{1}{f}$).

На практике чаще всего приходится измерять синусоидальные переменные токи, которые обычно характеризуются действующим значением и (реже)

средним значением или амплитудным. Поэтому подавляющее большинство приборов градуируется в действующих значениях синусоидального переменного тока. Приборы, проградуированные в средних или амплитудных значениях тока, используются сравнительно редко. Из этих соображений численные значения токов, приведенные в учебном пособии, даны, как правило, в действующих значениях. Измерение действующих значений переменных токов осуществляют, как уже отмечалось, различными средствами измерений, наиболее распространенные из которых приведены в табл. 22.2.

Для расширения пределов измерения переменных токов могут использоваться шунты (в составе выпрямительных приборов, в составе электронных аналоговых приборов, в составе термоэлектрических приборов или в составе цифровых измерительных приборов) и токовые измерительные трансформаторы. В табл. 22.2 приведены сведения о пределах измерения для четырех типов приборов.

Таблица 22.2

Характеристики измерителей действующих значений переменных токов

Виды приборов	**Верхний предел измерения, А**			**Частотный диапазон, Гц**
	наименьший	**наибольший**		
		с шунтом	**с измерительными трансформаторами**	
Цифровые	10^{-17}	10	–	$20–2•10^4$
Электронные аналоговые	10^{-5}	5	–	$10–10^7$
Термоэлектрические	$5•10^{-3}$	50	10^2	$1–10^8$
Выпрямительные	$2,5•10^{-5}$	$2•10^2$	10^4	$30–2•10^4$

В качестве примера в табл. П. 5.1 приведены технические характеристики универсальных вольтметров, позволяющих измерять действующие значения переменных токов в широком диапазоне частот.

Более подробно с методами измерения электрических токов можно познакомиться по литературным источникам, приведенным в библиографическом списке в конце учебного пособия [1; 2; 4–7; 9; 36; 38].

23. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

23.1. Общие положения

Измерение значения электрического напряжения (в дальнейшем – измерение напряжения) является наиболее распространенной операцией в области электрических измерений. Большая часть электроизмерительных приборов предназначена именно для измерения напряжения (это вольтметры и универсальные вольтметры). Отметим, что приборы для измерения больших напряжений именуются киловольтметрами, а для измерения малых напряжений – милливольтметрами, микровольтметрами и т. д. Измерение напряжения может производиться с помощью аналоговых электромеханических приборов различных систем, с помощью аналоговых электронных, цифровых и виртуальных приборов (см., например, учебники [2; 6]).

При подключении вольтметр шунтирует исследуемую цепь, что приводит к появлению дополнительной (методической) погрешности. Особенно значительна эта погрешность при использовании аналоговых электромеханических приборов, так как их внутреннее сопротивление сравнительно невелико. Рассмотрим вопрос о методической погрешности более детально.

а *б*



Рис. 23.1. Исследуемые схемы: *а* – исходная схема; *б* – схема после подключения вольтметра; U – напряжение источника питания; R_1, R_2 – постоянные сопротивления; R_V – внутреннее сопротивление вольтметра; U_2 – напряжение на сопротивлении R_2; U_V – показание вольтметра; I – ток в цепи до подключения вольтметра; I' – ток в цепи после подключения вольтметра

Падение напряжения на сопротивлении R_2 до подключения вольтметра определяется соотношениями

$$U_2 = IR_2, \tag{23.1}$$

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2}, \tag{23.2}$$

$$U_2 = \frac{UR_2}{R_1 + R_2}, \tag{23.3}$$

Падение напряжения на сопротивлении R_2 после подключения вольтметра определяется соотношениями

$$U_{\text{V}} = I'R_{2\text{V}}, \tag{23.4}$$

$$I' = \frac{U}{R_1 + R_{2\text{V}}}, \tag{23.5}$$

$$U_{\text{V}} = I'R_{2\text{V}}, \tag{23.6}$$

$$U_{\text{V}} = \frac{UR_{2\text{V}}}{R_1 + R_{2\text{V}}}, \tag{23.7}$$

где $R_{2\text{V}}$ – эквивалентное сопротивление (эквивалентное параллельно включенным сопротивлениям R_2 и R_{V}).

Абсолютная методическая погрешность измерения, возникающая при подключении к сопротивлению R_2 вольтметра V с внутренним сопротивлением R_{V} (см. рис. 23.1, *б*) запишется в виде

$$\Delta_{\text{M}} = \text{U}_2 – \text{U}_{\text{V}} \tag{23.8}$$

где Δ_{M} – абсолютная методическая погрешность;

U_2, U_{V} – определены выше.

Подставив в (23.8) значения U_2 и U_{V} и выполнив приведение подобных, получим

$$\Delta_M = U\frac{R_1(R_2 - R_{2V})}{(R_1 + R_2)(R_1 + R_{2V})}. \tag{23.9}$$

Относительная методическая погрешность измерения определяется соотношением

$$\delta_M = \frac{\Delta_M}{U_2}\cdot 100\% \tag{23.10}$$

где δ_{M} – относительная методическая погрешность.

После подстановки в (23.10) значений Δ_M и U_2 и приведения подобных получим

$$\delta_M = \frac{R_{12}}{R_{12} + R_V} 100\%, \qquad (23.11)$$

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}, \qquad (23.12)$$

где R_{12} – эквивалентное сопротивление исследуемой цепи (эквивалентное параллельно включенным сопротивлениям R_1 и R_2);

R_1, R_2, R_V – определены выше.

Отметим, что формула (23.12) правомерна, если внутреннее сопротивление источника питания мало и им можно пренебречь. Если этим сопротивлением пренебречь нельзя, то его надо приплюсовать к сопротивлению R_1.

Выражения (23.9) и (23.11) свидетельствуют о том, что рассматриваемые методические погрешности зависят от соотношения сопротивлений R_1, R_2 и R_{12}, с одной стороны, и сопротивления R_V, с другой стороны. Особенно это очевидно при рассмотрении относительной погрешности δ_M по (23.11). Действительно, для уменьшения методической погрешности в данном случае необходимо выполнить условие

$$R_V >> R_{12} \qquad (23.13)$$

Таким образом, можно сделать вывод, что использование вольтметров высокого класса еще не гарантирует получение малых погрешностей, так как методические погрешности, не зависящие от класса точности, могут значительно превзойти инструментальные погрешности результата измерений.

Отметим, что вопрос о методических погрешностях особенно актуален при использовании приборов непосредственной оценки и прямых методов измерений. При использовании приборов сравнения (см. главу 18 и параграфы 18.1, 18.2, 18.3, 18.4 и 18.5) и компенсационных методов измерения методические погрешности малы и ими в этом случае, как правило, пренебрегают.

23.2. Измерение постоянного напряжения

Для измерения постоянного напряжения могут быть использованы аналоговые электромеханические приборы различных систем, аналоговые электронные приборы и цифровые измерительные приборы. Перечисленные средства

измерений принято относить к приборам непосредственной оценки. Кроме того, для измерения постоянных напряжений используются приборы сравнения (компенсаторы постоянного тока).

Из аналоговых электромеханических приборов наибольшее распространение для измерения постоянных напряжений получили приборы магнитоэлектрической системы. Для использования магнитоэлектрического механизма в качестве вольтметра необходимо последовательно с ним включить добавочное сопротивление R_g. Изменяя сопротивление R_g, можно изменять (в широких пределах) диапазон измеряемых напряжений. Рассмотрим вопрос о расширении пределов измерении вольтметров более детально (рис. 23.2).

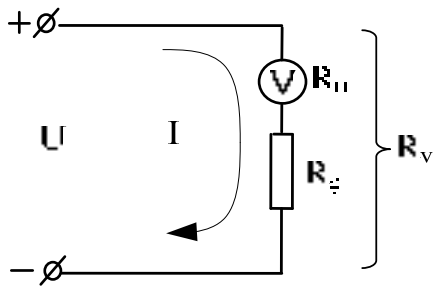


Рис. 23.2. Схема вольтметра:
U – измеряемое напряжение; R_0 – сопротивление измерительного механизма;
R_g – добавочное сопротивление; R_V – сопротивление вольтметра; I – ток в цепи

Обозначим через U_0 предельно допускаемое напряжение для используемого измерительного механизма и введем в рассмотрение коэффициент пропорциональности m, определяемый соотношением

$$m = \frac{U}{U_0}, \tag{23.14}$$

где m – коэффициент пропорциональности;

U, U_0 – определены выше.

Измеряемое напряжение U может быть записано в виде равенства

$$U = U_0 + U_g \tag{23.15}$$

где U_g – падение напряжения на добавочном сопротивлении.

$$U_0 = IR_0, \tag{23.16}$$

$$U_g = IR_g, \tag{23.17}$$

$$U = mU_0 \quad (23.18)$$

Учитывая соотношения (23.15)–(23.18), получим

$$U = IR_0 + IR_g, \quad (23.19)$$

$$mU_0 = IR_0 + IR_g,$$

$$mIR_0 = IR_0 + IR_g. \quad (23.20)$$

Сокращая в (23.20) ток I в левой и правой частях равенства, получим

$$mR_0 = R_0 + R_g. \quad (23.21)$$

Решая уравнение (23.21) относительно Rg, окончательно получаем

$$R_g = R_0 (m–1). \quad (23.22)$$

Соотношение (23.22) позволяет рассчитывать требуемое добавочное сопротивление R_g по заданному сопротивлению измерительного механизма R_0 и по заданному коэффициенту пропорциональности $m = U / U_0$, где U – измеряемое напряжение, а U_0 – предельно допускаемое напряжение для выбранного измерительного механизма.

Добавочные сопротивления могут использоваться, как уже отмечалось, с магнитоэлектрическими измерительными механизмами, а также с механизмами электромагнитной и электродинамической систем. С механизмами электростатической системы добавочные сопротивления не используются.

Добавочные сопротивления нормируются по току, по напряжению и по классу точности (табл. 23.1).

Таблица 23.1

Нормирование добавочных сопротивлений

Нормируемый параметр	**Значение нормируемого параметра**
Электрический ток, мА	0,5; 1,0; 3,0; 7,5; 15; 30
Электрическое напряжение, В	600; 1000; 1500; 3000 … 30 000
Класс точности	0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0

Добавочные сопротивления изготавливают из материала с малым температурным коэффициентом (например, из манганина), что позволяет снизить температурные погрешности.

Аналогично шунтам добавочные сопротивления могут быть внутренние и наружные, однопредельные и многопредельные, индивидуальные и калиброванные. Внутренние добавочные сопротивления используются, если измеряемое напряжение не превосходит 600 В. При измерении больших напряжений используются наружные сопротивления.

Наружные добавочные сопротивления монтируют в специальном корпусе с выведенными на панель зажимами от различных секций, соответствующих разным пределам измерения. Индивидуальные наружные сопротивления предназначаются для работы с определенным прибором и снабжаются надписью с указанием типа и номера этого прибора.

Калиброванные добавочные сопротивления могут применяться с любым прибором, ток полного отклонения которого не превосходит тока, на который рассчитано добавочное сопротивление.

В качестве примера в прил. 11 приведены технические характеристики добавочного сопротивления типа Р-109.

Пределы измерения постоянных напряжений приборами разных типов и их погрешности (наименьшие) приведены в табл. 23.2.

В качестве примера в табл. П. 5.1 приведены технические характеристики универсальных вольтметров, позволяющие измерять в том числе и постоянные напряжения.

Таблица 23.2

Пределы и погрешности измерения постоянных напряжений

Типы приборов	Пределы измерений			Погрешность (наименьшая), %
	Минимальное значение, В	Максимальное значение, В	С внешним шунтом, кВ	
Цифровые	$2 \cdot 10^{-5}$	10^3	до 40	0,001
Аналоговые электронные	$5 \cdot 10^{-8}$	10^3	–	0,5
Магнитоэлектрические	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^3$	до 20	0,05
Электромагнитные	1,5	600	–	0,5
Электродинамические	7,5	600	–	0,1
Электростатические	30	$75 \cdot 10^3$	–	0,5

23.3. Измерение переменного напряжения

Для измерения переменного напряжения используются аналоговые электромеханические приборы (электромагнитные, электродинамические, редко – индукционные), аналоговые электронные приборы (в том числе выпрямительной системы) и цифровые измерительные приборы. Для измерений могут также использоваться компенсаторы, осциллографы, регистрирующие устройства и виртуальные приборы.

При измерении переменного напряжения следует различать: мгновенное, амплитудное, среднее и действующее значения искомого напряжения.

Синусоидальное переменное напряжение может быть представлено в виде следующих соотношений:

$$u(t) = U_m \sin \omega t, \tag{23.23}$$

$$U_{ср} = \frac{1}{T}\int_0^T u(t)dt\,, \tag{23.24}$$

$$U = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T \left[u(t)\right]^2 dt}\,. \tag{23.25}$$

где $u(t)$ – мгновенное значение напряжения;

U_{m} – амплитудное значение напряжения;

ω – $2\pi f$ – угловая частота;

f – циклическая частота;

t – время;

$U_{ср}$ – среднее значение напряжения;

T – период ($T = 1/f$) искомого синусоидального напряжения;

U – действующее значение напряжения.

Мгновенное значение переменного тока может быть отображено на электронном осциллографе или с помощью аналогового регистратора (самописца).

Средние, амплитудные и действующие значения переменных напряжений измеряются стрелочными или цифровыми приборами непосредственной оценки или компенсаторами переменных напряжений. Приборы для измерения средних и амплитудных значений используются сравнительно редко. Большая часть приборов градуируется в действующих значениях напряжения. Из этих соображений численные значения напряжений, приведенные в учебном пособии, даны, как правило, в действующих значениях (см. выражение (23.25)).

При измерениях переменных величин большое значение имеет форма искомых напряжений, которые могут быть синусоидальными, прямоугольными, треугольными и т. д. В паспортах на приборы всегда указывается, для измерения каких напряжений рассчитан прибор (например, для измерения синусоидальных напряжений или прямоугольных). При этом всегда указывается, какой параметр переменного напряжения измеряется (амплитудное значение, среднее значение или действующее значение измеряемого напряжения). Как уже отмечалось, большей частью используется градуировка приборов в действующих значениях искомых переменных напряжений. В силу этого все далее рассматриваемые переменные напряжения даны в действующих значениях.

Для расширения пределов измерения вольтметров переменных напряжений используются добавочные сопротивления, измерительные трансформаторы и добавочные емкости (с приборами электростатической системы).

Использование добавочных сопротивлений для расширения пределов измерения уже рассмотрено в п. 23.2 применительно к вольтметрам постоянного

напряжения и поэтому в данном разделе не рассматривается. Не рассматриваются также измерительные трансформаторы напряжения и тока. Сведения по трансформаторам даны в литературе, приведенной в библиографическом списке [5].

Рассмотрим более детально использование добавочных емкостей для расширения пределов измерения электростатистики вольтметров. С этой целью может использоваться одна дополнительная емкость (рис. 23.3, *а*) или же две (рис. 23.3, *б*).

Для схемы с одной дополнительной емкостью измеряемое напряжение U распределяется между емкостью вольтметра C_V и дополнительной емкостью C обратно пропорционально значениям C_V и C, т. е.

$$\frac{U_C}{U_V} = \frac{C_V}{C}, \tag{23.26}$$

где U_C, U_V, C_V, C – определены выше.

Учитывая, что $U_C = U - U_V$, можно записать

$$\frac{U - U_v}{U_V} = \frac{C_V}{C}. \tag{23.28}$$

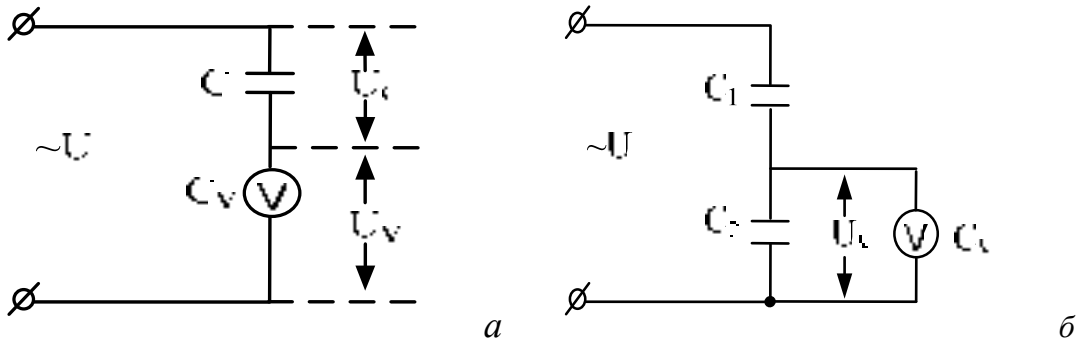


Рис. 23.3. Схема расширения пределов измерения электростатических вольтметров:
а – схема с одной добавочной емкостью; *б* – схема с двумя добавочными емкостями;
U – измеряемое переменное напряжение (действующее значение);
C, C_1, C_2 – добавочные емкости; C_V – емкость используемого электростатического вольтметра V; U_C – падение напряжения на дополнительной емкости C;
U_V – показание электростатического вольтметра

Решая уравнение (23.27) относительно U, получим

$$U = U_V \frac{C_V + C}{C}. \tag{23.28}$$

Из (23.28) следует, что чем больше измеряемое напряжение U по сравнению с предельно допускаемым напряжением для данного электростатического механизма, тем меньше должна быть емкость C по сравнению с емкостью C_V.

Следует отметить, что формула (23.22) правомерна лишь при идеальной изоляции конденсаторов, образующих емкости C и C_V. Если же диэлектрик, изолирующий пластины конденсаторов друг от друга, имеет потери, то возникают дополнительные погрешности. Кроме того, емкость вольтметра C_V зависит от измеряемого напряжения U, т. к. от U зависят показания вольтметра и соответственно взаимное расположение подвижных и неподвижных пластин, образующих электростатический измерительный механизм. Последнее обстоятельство приводит к появлению еще одной дополнительной погрешности.

Лучшие результаты получаются, если вместо одной добавочной емкости использовать две добавочные емкости C_1 и C_2, образующие делитель напряжения (см. рис. 23.3, *б*).

Для схемы с двумя добавочными емкостями правомерно соотношение

$$\frac{U_{C1}}{U_V} = \frac{C_2 + C_V}{C_1}, \tag{23.29}$$

где U_{C1} – падение напряжения на емкости C_1.

Учитывая, что $U_{C1} = U – U_V$, можно записать

$$\frac{U - U_V}{U_V} = \frac{C_2 + C_V}{C_1}. \tag{23.30}$$

Решая уравнение (23.30) относительно U, получим

$$U = U_V \frac{C_V + C_1 + C_2}{C_1}. \tag{23.31}$$

Из (23.31) можно сделать вывод, что если емкость конденсатора C_2, к которому подключен вольтметр, значительно превышает емкость самого вольтметра, то распределение напряжения практически не зависит от показания вольтметра. Кроме того, при $C_2 >> C_V$ изменение сопротивления изоляции конденсаторов C_1 и C_2 и частоты измеряемого напряжения также мало влияют на

показания прибора. То есть при использовании двух добавочных емкостей дополнительные погрешности результатов измерений значительно снижаются.

Пределы измерения переменных напряжений приборами разных типов и наименьшие погрешности этих приборов приведены в табл. 23.3.

В качестве примеров в табл. П. 5.1 приведены технические характеристики универсальных вольтметров, позволяющих измерять, в том числе, и переменные напряжения.

В табл. П. 5.1 приведены технические характеристики вольтметров для измерения переменных напряжений.

Таблица 23.3

Пределы и погрешности измерения переменных напряжений

Типы приборов	**Пределы измерений, В**				**Частотный диапазон, Гц**	**Наименьшая погрешность, %**
	наименьший	**наибольший**				
		прямое включение	**с внешним добавочным сопротивлением**	**с измерительным трансформатором**		
Цифровые	10^{-5}	10^{3}	–	–	$4–10^{8}$	0,15
Аналоговые электронные	$3 \cdot 10^{-6}$	300	–	–	$10–10^{9}$	0,5
Электромагнитные	0,5	600	750	$6 \cdot 10^{5}$	$45–10^{4}$	0,5
Электростатические	30	$7{,}5 \cdot 10^{4}$	–	–	$20–10^{7}$	0,5
Электродинамические	7,5	600	–	$3 \cdot 10^{4}$	$45–2 \cdot 10^{3}$	0,1

В заключение следует отметить следующее.

Погрешности измерения токов (постоянных и переменных) приборами одного типа и в равных условиях всегда больше погрешностей измерения напряжений (и постоянных, и переменных). Погрешности измерения переменных

токов и напряжений приборами одного типа и в равных условиях всегда больше погрешностей измерения постоянных токов и напряжений.

Более подробно по затронутым вопросам можно ознакомиться по литературе, приведенной в библиографическом списке [1; 2; 4–7; 9; 36; 38].

24. ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

24.1. Общие положения

Выбор метода измерения сопротивления и соответствующей измерительной аппаратуры зависит от значения измеряемого сопротивления, требуемой точности и условий, при которых производится измерение.

На практике приходится измерять сопротивления в чрезвычайно широком диапазоне – от тысячных и миллионных долей ома (например, при измерении сопротивления металлических контактов) до сопротивлений 10^{14}–10^{15} Ом (например, при измерении сопротивления изоляционных материалов).

Весьма различны и требования к точности измерений. Например, при поверке образцовых катушек сопротивлений допускаемая погрешность измерения обычно не превышает тысячных долей процента, а при измерении, например, сопротивления заземления погрешность 10–15 % является, в ряде случаев, вполне допускаемой.

Для измерения сопротивлений используются следующие методы:

1) метод вольтметра и амперметра;
2) метод сравнения с образцовой мерой;
3) метод заряда и разряда конденсатора известной емкости.

Для измерения сопротивлений можно пользоваться как аппаратурой общего назначения (амперметрами, вольтметрами, магазинами сопротивлений и др.), собирая соответствующие измерительные схемы, так и приборами, специально предназначенными для измерения сопротивлений (аналоговыми и цифровыми омметрами, мостовыми схемами и др.), позволяющими производить измерение удобнее и быстрее.

Используемые методы и приборы для измерения сопротивлений в большой степени зависят от значения измеряемых сопротивлений, которые подразделяются на малые, средние, большие и сверхбольшие (табл. 24.1).

Таблица 24.1

Классификация сопротивлений

Наименование сопротивлений	**Значение сопротивлений, Ом**
Малые	< 1
Средние	от 1 до 10^6
Большие	от 10^6 до 10^{12}
Сверхбольшие	$> 10^{12}$

Мостовые методы измерения сопротивлений частично уже рассмотрены в главах 11–15 учебного пособия. Ниже приводятся наиболее распространенные методы измерения малых, средних и больших сопротивлений (как с использованием мостовых схем, так и без их использования).

Наиболее универсальным методом измерения сопротивлений является метод вольтметра и амперметра. Этот метод может быть использован для измерения и малых, и средних, и больших сопротивлений. Схемы включения приборов при реализации метода вольтметра и амперметра приведены на рис. 24.1 (первый вариант) и на рис. 24.2 (второй вариант).

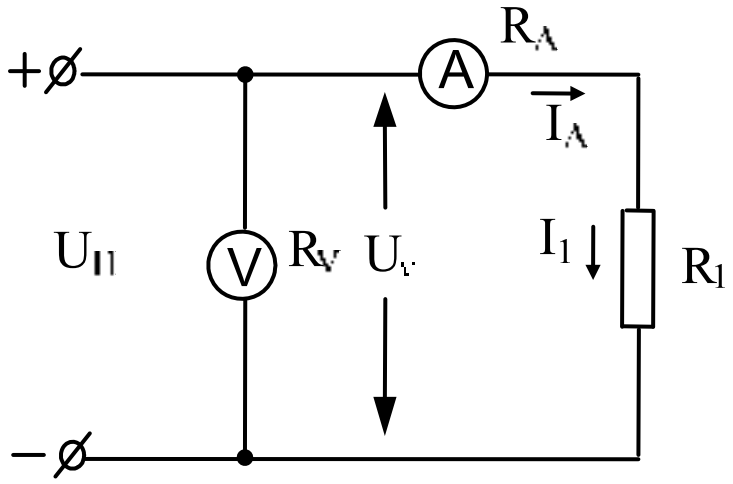


Рис. 24.1. Первый вариант включения приборов при измерении сопротивлений методом вольтметра и амперметра

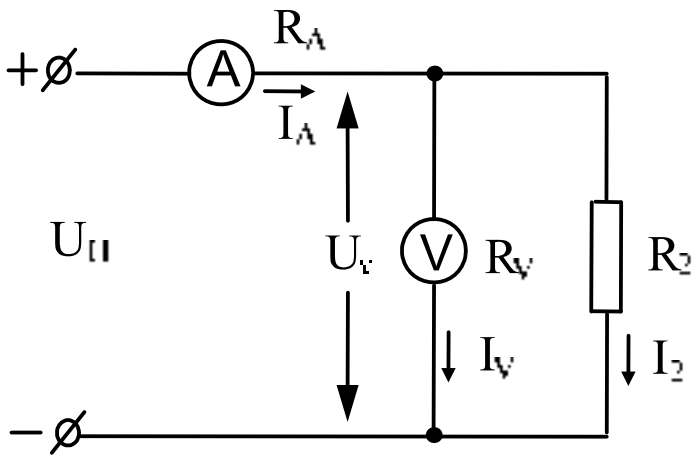


Рис. 24.2. Второй вариант включения приборов при измерении сопротивлений методом вольтметра и амперметра

На рис. 24.1 и 24.2 приняты следующие обозначения:

$U_П$ – напряжение питания;

I_A – показание амперметра;

U_V – показание вольтметра;

R_V – внутреннее сопротивление вольтметра;

R_A – внутреннее сопротивление амперметра;

I_V – ток через вольтметр (вторая схема включения приборов);

R_1 – искомое сопротивление при первом варианте включения приборов;

R_2 – искомое сопротивление при втором варианте включения приборов;

$I_1 = I_A$ – ток через сопротивление R_1 (первый вариант включения приборов);

I_2 – ток через сопротивление R_2 (второй вариант включения приборов).

Для обеих схем включения приборов измеряемые (искомые) сопротивления R_1 и R_2 могут быть приближенно оценены (в соответствии с законом Ома) по формулам

$$R_1^{'} = U_V / I_A, \qquad (24.1)$$

$$R_2^{'} = U_V / I_A, \qquad (24.2)$$

где U_V, I_A – определены выше;

$R_1^{'}$, $R_2^{'}$ – значения сопротивлений, найденные по показаниям приборов.

К недостаткам рассматриваемого метода измерения сопротивлений следует отнести использование двух приборов (вольтметра и амперметра) и необходимость проведения вычислений для получения искомого результата.

Кроме того, нетрудно заметить, что при включении приборов по схеме рис. 24.1 отношение напряжения U_V к току I_A (см. выражение (24.1)) равно сумме искомого сопротивления R_1 и сопротивления амперметра R_A. Т. е. для получения значения искомого сопротивления с поправкой необходимо из результата по (24.1) вычесть значение R_A:

$$R_1 = R_1' - R_A, \tag{24.3}$$

где R_1 – значение искомого сопротивления с поправкой для первого варианта включения приборов («истинное» значение искомого сопротивления).

При включении приборов по схеме рис. 24.2 ток I_A является суммой токов I_V и I_2 (в соответствии с первым законом Кирхгофа). Т. е. для получения значения искомого сопротивления с поправкой необходимо из тока I_A (см. выражение (24.2)) вычесть ток I_V. В этом случае значение искомого сопротивления с поправкой запишется в виде

$$R_2 = \frac{U_V}{I_A - I_V}, \tag{24.4}$$

где R_2 – значение искомого сопротивления с поправкой для второго варианта включения приборов («истинное» значение искомого сопротивления).

Учитывая, что $I_V = U_V / R_V$, значение R_2 может быть получено в виде соотношения

$$R_2 = \frac{U_V}{I_A - U_V / R_V}, \tag{24.5}$$

где U_V, I_A, R_V – определены выше.

Кроме введения поправок, возможен и другой подход к решению рассматриваемой задачи по измерению сопротивлений методом вольтметра и амперметра. Другой подход заключается в определении искомых значений сопротивлений по (24.1) и (24.2) без поправок и в оценке возникающих при этом методических погрешностей.

Абсолютная методическая погрешность измерения сопротивлений методом вольтметра и амперметра при использовании первого варианта включения приборов оценивается соотношением

$$\Delta_1 = R_1^{'} - R_1, \tag{24.6}$$

где Δ_1 – абсолютная методическая погрешность при первом варианте включения приборов;

$R_1^{'}$ – результат измерения по показаниям приборов (см. выражение (24.1));

R_1 – «истинное» значение искомого сопротивления (см. выражение (24.3)).

Подставляя в (24.6) значение R_1 по (24.3), получим абсолютную методическую погрешность при первом варианте включения приборов:

$$\Delta_1 = R_A. \tag{24.7}$$

Относительная методическая погрешность при использовании первого варианта включения приборов запишется в виде

$$\delta_1 = \frac{\Delta_1}{R_1}100\% = \frac{R_A}{R_1}100\% \tag{24.8}$$

где δ_1 – относительная методическая погрешность при первом варианте приборов.

Абсолютная методическая погрешность измерения сопротивлений методом вольтметра и амперметра при использовании второго варианта включения приборов оценивается соотношением

$$\Delta_2 = R'_2 - R_2 \tag{24.9}$$

где Δ_2 – абсолютная методическая погрешность при втором варианте включения приборов;

$R_2^{'}$ – результат измерения по показаниям приборов (см. выражение (24.2));

R_2 – «истинное» значение искомого сопротивления (см. выражение (24.5)).

Отметим, что «истинными» значениями искомых сопротивлений R_1 и R_2 названы значения измеряемых сопротивлений с поправками.

Результат измерения по показаниям приборов может быть записан в виде

$$R_2^{'} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_V}{I_2 + I_V} = \frac{U_V}{U_V(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_V})} = \frac{R_V R_2}{R_V + R_2}. \qquad (24.10)$$

Подставляя в (24.9) значение $R_2^{'}$ по (24.10), получаем

$$\Delta_2 = \frac{R_V R_2}{R_V + R_2} - R_2 = -\frac{R_2^2}{R_V + R_2},$$

$$\Delta_2 = -\frac{R_2^2}{R_V + R_2}. \qquad (24.11)$$

Относительная методическая погрешность при использовании второго варианта включения приборов запишется в виде

$$\delta_2 = \frac{\Delta_2}{R_2} 100\% = \frac{R_2^2}{R_2(R_V + R_2)} 100\%$$

$$\delta_2 = \frac{R_2}{R_V + R_2} 100\% \qquad (24.12)$$

где δ_2 – относительная методическая погрешность при втором варианте включения приборов.

Таким образом, методические погрешности при косвенном измерении искомого сопротивления методом вольтметра и амперметра оцениваются соотношениями (24.7) и (25.8) для первого варианта включения приборов и соотношениями (24.11) и (24.12) для второго варианта включения приборов.

Отметим, что схема первого варианта включения приборов, приведенная на рис. 24.1, обеспечивает меньшие погрешности при измерении больших сопротивлений, а схема, приведенная на рис. 24.2 (второй вариант включения приборов), – при измерении малых сопротивлений.

24.2. Измерение малых сопротивлений

При измерении малых сопротивлений необходимо учитывать, что значения сопротивлений соединительных проводов и сопротивлений контактов в местах соединения проводов с измеряемым сопротивлением могут быть сравнимыми со значением искомого сопротивления. Поэтому, чтобы сопротивления

проводов и контактов не искажали результат измерения, необходимо обратить серьезное внимание на способ подключения измерительных приборов, на способ включения измеряемого сопротивления в измерительную схему и на метод проведения измерений. Для измерения малых сопротивлений используются различные методы. В учебном пособии рассматривается три метода измерения: метод вольтметра и амперметра, метод сравнения и метод, основанный на использовании мостовых измерительных схем.

Метод вольтметра и амперметра

Измерение сопротивлений методом вольтметра и амперметра уже рассмотрено в параграфе 24.1. В данном параграфе учебного пособия описаны особенности этого метода при измерении малых сопротивлений. Для исключения больших погрешностей при измерении малых сопротивлений в последних всегда должны быть выделены четыре зажима – два токовых и два потенциальных.

Рассмотрим использование метода вольтметра и амперметра на примере измерения сопротивления медной шины (рис. 24.3).

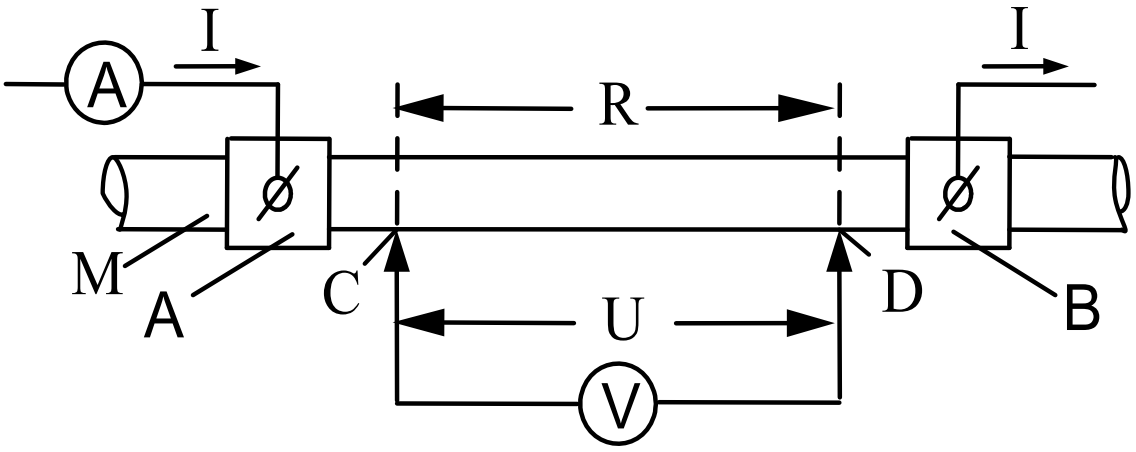


Рис. 24.3. Схема эксперимента при измерении методом вольтметра и амперметра сопротивления участка медной шины: *M* – медная шина; *A*, *B* – токовые зажимы; *C*, *D* – потенциальные контакты; *R* – искомое сопротивление; *A* – амперметр; *V* – вольтметр; *I* – ток в цепи; *U* – разность потенциалов между точками *C* и *D*

Искомое сопротивление *R* определяется соотношением

$$R = U / I \qquad (24.13)$$

Ток *I*, пропускаемый через исследуемую шину, подводят к зажимам *A* и *B* (токовым зажимам), а напряжение *U* измеряют между контактами *C* и *D* (по-

тенциальными зажимами), выполненными обычно в виде двух призм (ножей), прижатых острыми ребрами к шине. Для уменьшения погрешности при измерении U необходимо, чтобы сопротивление вольтметра было много больше сопротивления соединительных проводов и сопротивления контактов в точках C и D. Рассматриваемая погрешность будет полностью или частично отсутствовать, если измерение напряжения U производится без потребления тока (или этим током можно пренебречь). Подобное возможно, если напряжение измеряется с помощью потенциометра или электровольтметра, входное сопротивление которого весьма велико.

Метод сравнения

При измерении малых сопротивлений методом сравнения по схеме рис. 24.4 измеряемое и образцовое сопротивления следует подключать к источнику тока и соединять между собой посредством токовых зажимов (зажимы A, B и A', B' на рис. 24.4), а напряжение измерять между потенциальными зажимами C, D и C', D'.

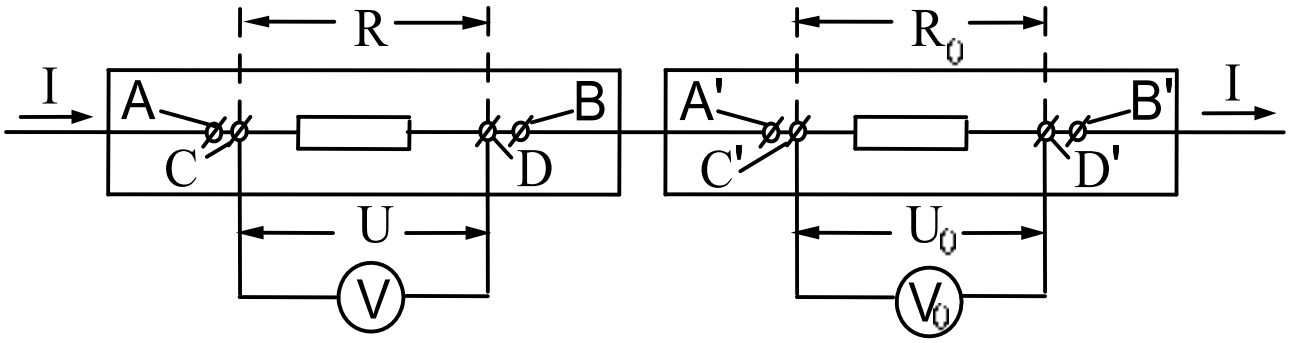


Рис. 24.4. Схема эксперимента при измерении малых сопротивлений методом сравнения: R – искомое сопротивление (четырехзажимное); R_0 – образцовое сопротивление (четырехзажимное); V, V_0 – вольтметры; U – падение напряжения на R; U_0 – падение напряжения на R_0; I – ток в цепи; A, B, A', B' – токовые зажимы; C, D, C', D' – потенциальные зажимы

Искомое сопротивление R определяется с использованием следующих соотношений:

$$R = \frac{U}{I},$$

$$I = \frac{U_0}{R_0},$$

$$R = R_0 \frac{U}{U_0}, \qquad (24.14)$$

где R, R_0, U, U_0 – определены выше.

Погрешность косвенного измерения искомого сопротивления по (24.14) может быть найдена в соответствии с рекомендациями, приведенными в п. 7.3 и табл. 7.1 данного учебного пособия.

$$\vartheta = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2},$$

где ϑ – относительная суммарная погрешность косвенного измерения значения сопротивления R (%);

δ_1 – относительная суммарная погрешность прямого измерения значения сопротивления R_0 (%);

δ_2 – относительная суммарная погрешность прямого измерения значения напряжения U (%);

δ_3 – относительная суммарная погрешность прямого измерения значения напряжения U_0 (%).

Абсолютная суммарная погрешность косвенного измерения значения сопротивления R:

$$\Delta = \frac{R}{100\%} \vartheta \qquad (24.15)$$

где Δ – абсолютная суммарная погрешность косвенного измерения искомого сопротивления (Ом).

Мостовые методы

Четырехплечные мостовые схемы, описанные в главах 11–15 учебного пособия, малопригодны для измерения малых сопротивлений. Для этой цели применяются обычно двойные мосты (рис. 24.5).

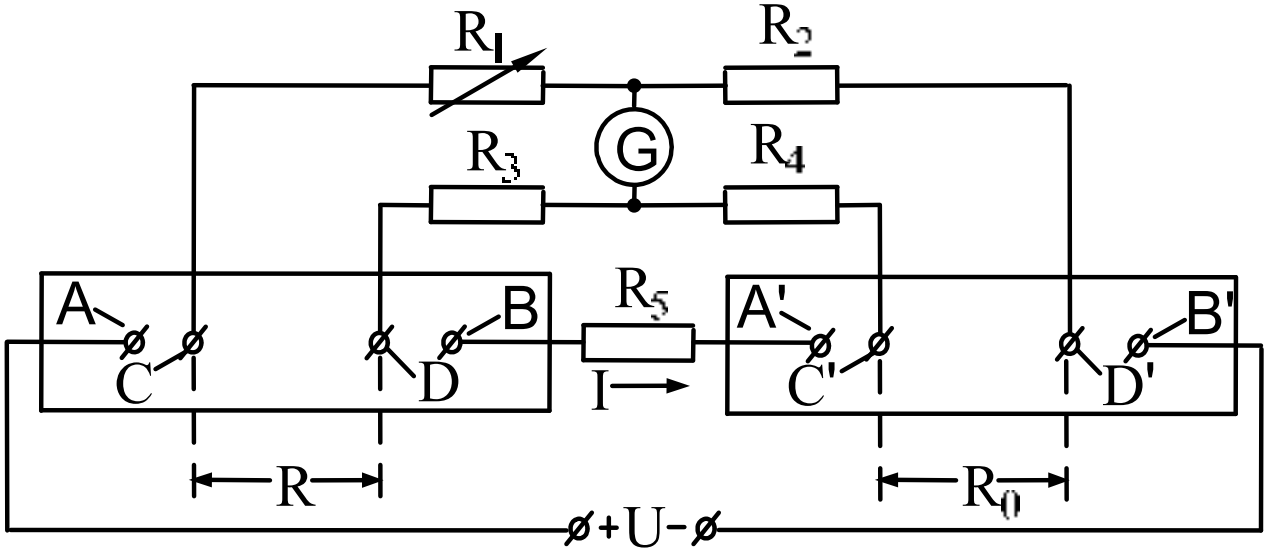


Рис. 24.5. Схема двойного моста: R – измеряемое (искомое) сопротивление; R_0 – образцовое сопротивление; A, B, A', B' – токовые зажимы (контакты); C, D, C', D' – потенциальные зажимы (контакты); R_1 – переменное (регулируемое) сопротивление; R_2, R_3, R_4, R_5 – постоянные сопротивления; G – гальванометр (используется в режиме ноль- индикатора); U – напряжение питания

Измеряемое (искомое) сопротивление R и образцовое сопротивление R_0 должны быть четырехзажимными и иметь значения одного порядка.

Для вывода уравнения, описывающего равновесное состояние моста, надо преобразовать треугольник, образованный сопротивлениями R_3, R_4, R_5 , в эквивалентную звезду. При этом двойной мост преобразуется в четырехплечий с плечами R_1, R_2, $R+R_\text{m}$ и R_0+R_n . Условием равновесия этого моста, а следовательно, и исходного двойного моста является соотношение

$$R_1(R_0 + Rn) = R_2(R + Rm). \tag{24.16}$$

Сопротивления R_n и R_m эквивалентной звезды, как известно:

$$Rn = \frac{R_4 R}{R_3 + R_4 + R_5}, \tag{24.17}$$

$$Rm = \frac{R_3 R}{R_3 + R_4 + R_5}. \tag{24.18}$$

Подставляя значения R_n и R_m в (24.16) и решая полученное уравнение относительно измеряемого (искомого) сопротивления R, получим

$$R = R_0 \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_5}{R_3 + R_4 + R_5}\left(\frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_2}\right). \tag{24.19}$$

Использование соотношения (24.19) для определения значения R по значениям сопротивлений остальных плеч схемы затруднительно. Одна из причин затруднений – наличие в (24.19) сопротивления R_5, которое включает в себя не только сопротивление , но и сопротивление контактов в точках схемы B и A'.

Значение сопротивления R_5, в силу этого, непостоянно и обычно неизвестно. Выражение (24.19) упрощается, если подобрать сопротивления R_1, R_2, R_3 и R_4 так, чтобы

$$R_1 R_4 = R_2 R_3. \qquad (24.20)$$

Если условие (24.20) выполняется, то выражение (24.19) принимает вид

$$R = R_0 \frac{R_1}{R_2}. \qquad (24.21)$$

Обычно в двойных мостах подбирают $R_1 = R_3$ и $R_2 = R_4$, при этом в большинстве мостов сопротивление R_1 – регулируемое. Имеются, однако, мосты, в которых сопротивления R_1, R_2, R_3 и R_4 – постоянны, а регулируемым является сопротивление R_0.

Для измерения сопротивления R изменяют регулируемые сопротивления мостовой схемы (R_1 или R_0) до тех пор, пока мост не будет уравновешен. О равновесии моста судят по показаниям гальванометра G (в момент равновесия его показания нулевые). После достижения равновесия искомое значение R определяют по формуле (24.21).

Для того чтобы свести к минимуму погрешность измерения, необходимо сделать возможно малым сопротивление R_5, т. е. соединять сопротивления R и R_0 по возможности коротким проводом большого сечения. Это особенно важно при измерении предельно малых сопротивлений, имеющих значения десятитысячных долей ома и менее.

Ниже приведена табл. 24.2 с техническими характеристиками универсального измерительного моста типа Р-329.

Таблица 24.2

Технические характеристики универсального измерительного моста типа Р-329

Предел измерения, Ом	Класс точности	Вид схемы
10^{-6} … 10^{-5}	1,5	Двойной мост (шестиплечий)
10^{-5} … 10^{-4}	1,0	
10^{-4} … 10^{-3}	0,5	
10^{-3} … 100	0,05	
50 … 10^{5}	0,05	Одинарный мост (четырехплечий)
10^{5} … 1,1 • 10^{6}	0,5	

В заключение данного параграфа учебного пособия следует отметить, что заметные погрешности при измерении малых сопротивлений могут быть вызваны паразитными ЭДС, возникающими в местах контакта проводов из-за неоднородности материала последних (контактные ЭДС). Кроме того, при отличии температур различных частей измерительной схемы возникает термоЭДС. Во многих случаях влияния контактных и термоЭДС можно в значительной мере исключить, проводя измерение два раза при различных полярностях измерения питания. При этом паразитные ЭДС при одной полярности питающего напряжения суммируются с полезными сигналами, а при другой полярности – вычитаются из них. В качестве результата (при двух измерениях) принимается среднее арифметическое значение по результатам обоих измерений.

24.3. Измерение средних сопротивлений

Для измерения средних сопротивлений могут быть использованы уже рассмотренные методы: метод вольтметра и амперметра, метод сравнения и метод с использованием мостовых измерительных схем. Так как эти методы уже описаны выше, в данном параграфе учебного пособия они не рассматриваются.

Средние сопротивления наиболее часто встречаются на практике, в силу чего разработано большое количество методов, часть из которых будет рассмотрена ниже.

Метод одного амперметра

При использовании одного амперметра измеряемое сопротивление может включаться последовательно с амперметром («последовательный» омметр) и параллельно к амперметру («параллельный омметр).

Схема «последовательного» омметра приведена на рис. 24.6.

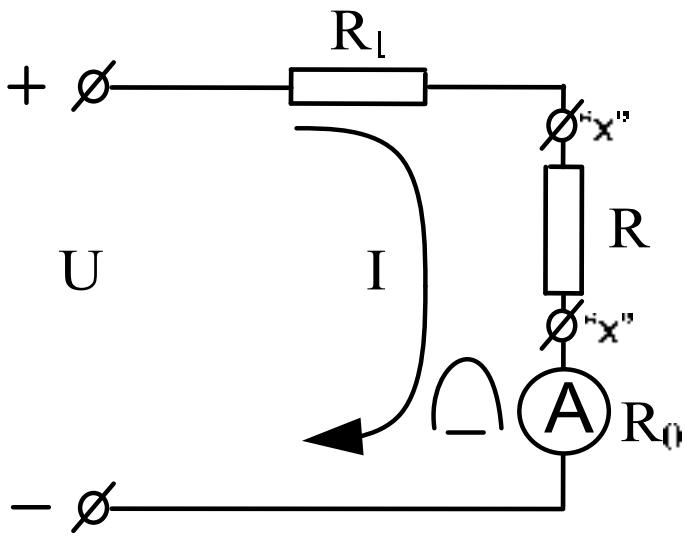


Рис. 24.6. Схема «последовательного» омметра:
R – измеряемое сопротивление; R_1 – добавочное (известное) сопротивление; R_0 – внутреннее сопротивление амперметра; A – амперметр магнитоэлектрической системы; U – напряжение питания; I – ток в схеме; "x" – x-зажимы, к которым подключается измеряемое сопротивление

Измерительный прибор, использованный в схеме на рис. 24.6, обозначен как амперметр. В действительности токи в цепи составляют тысячные и десятитысячные доли амперметра. Т. е. фактически используются миллиамперметры и микроамперметры магнитоэлектрической системы.

Показания прибора по схеме рис. 24.6 определяются следующими соотношениями:

$$\alpha = KI,$$

$$I = \frac{U}{R_0 + R_1 + R},$$

$$\alpha = KU\frac{1}{R_0 + R_1 + R}, \qquad (24.22)$$

где α – показание прибора;

K – коэффициент, характеризирующий чувствительность прибора;

U, R_0, R_1, R – определены выше.

Из выражения (24.22) следует, что показания прибора α обратно пропорциональны измеряемому сопротивлению R. Зависимость $\alpha = f(R)$ приведена на рис. 24.7.

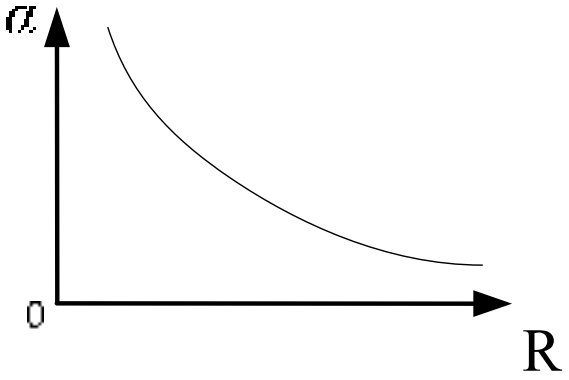


Рис. 24.7. График зависимости $\alpha = f(R)$ для «последовательного» омметра

Пример шкалы «последовательного» омметра приведен на рис. 24.8.

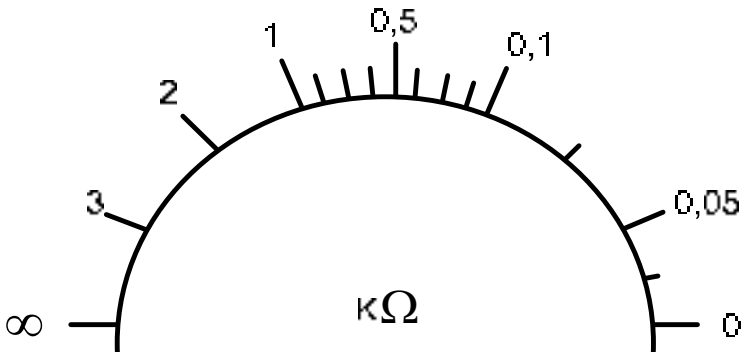


Рис. 24.8. Пример шкалы «последовательного» омметра

Выражение (24.22) и рис. 24.7 свидетельствуют, что при измеряемом сопротивлении $R = 0$ $\alpha = \alpha_{max}$; при $R \to \infty$ $\alpha \to 0$. Следует также отметить, что шкала рассматриваемого омметра градируется в единицах сопротивления, нелинейна и имеет ноль справа. «Последовательные» омметры используются, как правило, для измерения сравнительно больших сопротивлений (тысячи и миллионы ом). Соответственно на шкалу прибора наносятся единицы измерений “kΩ” (как на рис. 24.8) или “MΩ”.

Схема «параллельного» омметра приведена на рис. 24.9.

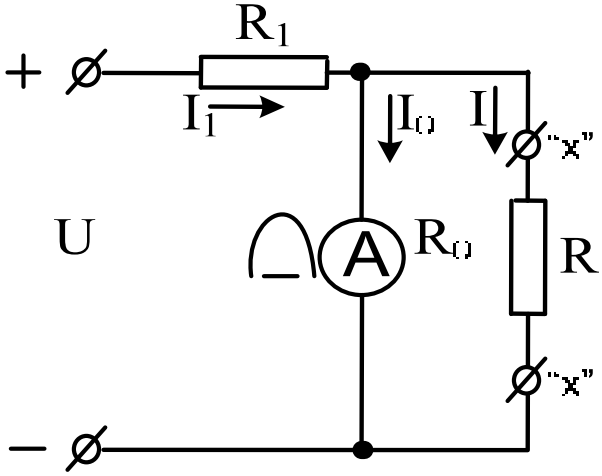


Рис. 24.9. Схема «параллельного» омметра:
R – измеряемое сопротивление; R_0 – внутреннее сопротивление амперметра;
R_1 – добавочное (известное) сопротивление; A – амперметр магнитоэлектрической системы; U – напряжение питания; I – ток через измеряемое сопротивление;
I_0 – ток через амперметр

Аналогично «последовательным» омметрам в цепях «параллельных» омметров протекают небольшие токи (миллиамперы и микроамперы), так что использование в схеме рис. 24.9 амперметра является несколько условным и применено для общности рассуждений.

Показания прибора по схеме рис. 24.9 определяются следующими соотношениями:

$$\alpha = kI_0$$

$$I_0 = \frac{U - I_1 R_1}{R_0},$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1 + R_2},$$

$$R_2 = \frac{R_0 R}{R_0 + R_1},$$

$$\alpha = U \frac{kR}{R_1 R_0 + R(R_1 + R_0)}, \qquad (24.23)$$

где α – показание прибора;

k – коэффициент, характеризирующий чувствительность прибора;

U, R, R_0, R_1 – определены выше.

Из выражения (24.23) следует, что показания прибора α пропорциональны измеряемому сопротивлению R. Зависимость $\alpha = f(R)$ для рассматриваемого случая приведена на рис. 24.10.

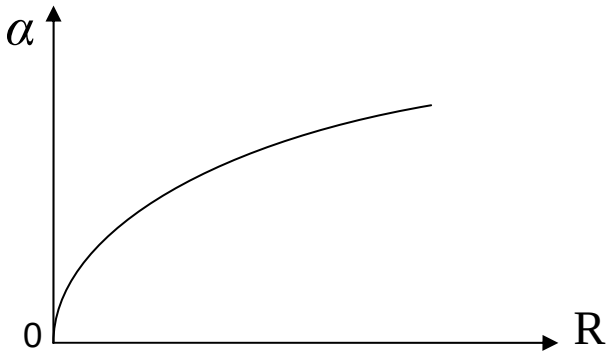


Рис. 24.10. График зависимости $\alpha = f(R)$ для «параллельного» омметра

Выражение (24.23) и рис. 24.10 свидетельствуют, что при значении измеряемого сопротивления, равном нулю, $\alpha = 0$, а при $R \to \infty$ $\alpha \to \alpha_{max}$. Шкала рассматриваемого омметра нелинейна и имеет ноль слева (рис. 24.11). Градуируется шкала в единицах сопротивления.

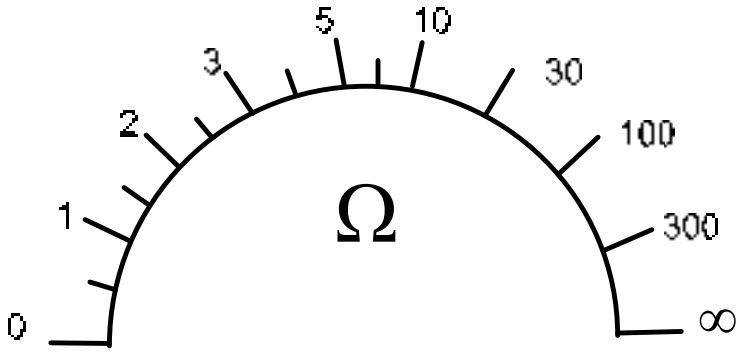


Рис. 24.11. Пример шкалы «параллельного» омметра

«Параллельные» омметры используются, как правило, для измерения сравнительно небольших сопротивлений (обычно это единицы, десятки и сотни ом). При больших значениях измеряемого сопротивления R (по сравнению с сопротивлением амперметра R_0) относительно значительные изменения R вызывают малое изменение показания прибора.

Метод одного вольтметра

Схема устройства, реализующего измерение сопротивления методом одного вольтметра, приведена на рис. 24.12. На этом рисунке приняты следующие обозначения:

U – напряжение питания;

V – вольтметр;

П – переключатель;

R – измеряемое сопротивление;

R_V – внутреннее сопротивление вольтметра;

I_1, I_2 – токи, протекающие в схеме при 1-м и 2-м положениях переключателя П.

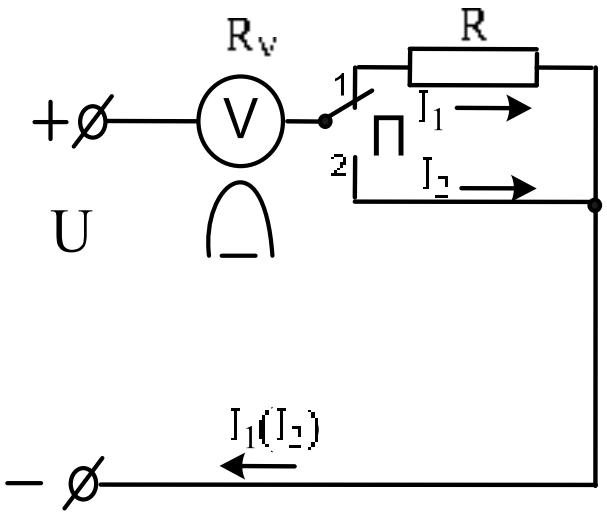


Рис. 24.12. Схема устройства при измерении сопротивления методом одного вольтметра

Показания прибора по схеме рис. 24.12 определяются нижеследующими соотношениями.

При переводе переключателя П в положение «1» ток в цепи I_1 будет иметь значение

$$I_1 = \frac{U}{R_V + R}. \qquad (24.24)$$

Показание вольтметра α_1 в этом случае запишется в виде

$$\alpha_1 = kI_1 = k\frac{U}{R_V + R} \qquad (24.25)$$

где k – коэффициент, характеризирующий чувствительность вольтметра.

При переводе переключателя П в положение «2» значение тока I_2 будет следующим:

$$I_2 = \frac{U}{R_V}. \tag{24.26}$$

Показание вольтметра α_2 в этом случае запишется в виде

$$\alpha_2 = kI_2 = k\frac{U}{R_V}. \tag{24.27}$$

Решая уравнения (24.25) и (24.27) относительно U, получим

$$U = \frac{\alpha_1(R_V + R)}{k}, \tag{24.28}$$

$$U = \frac{\alpha_2 R_V}{k}. \tag{24.29}$$

Приравнивая правые части равенств (24.28) и (24.29) и сокращая на k, получим

$$\alpha_1 = \left(R_V + R\right) = \alpha_2 R_V. \tag{24.30}$$

Решая соотношение (24.30) относительно R, окончательно получим соотношение

$$R = R_V \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_1}, \tag{24.31}$$

где R – измеряемое сопротивление;

R_V – сопротивление вольтметра;

α_1 – показание вольтметра при переводе переключателя П в положение «1»;

α_2 – показание вольтметра при переводе переключателя П в положение «2».

Соотношение (24.31) правомерно, если напряжение питания U стабильно и не изменяется в ходе эксперимента по измерению искомого сопротивления.

Метод замещения

Схема устройства для измерения сопротивления методом замещения приведена на рис. 24.13, где приняты следующие обозначения:

U – напряжение питания;

И – измеритель;

К – ключ;

R – измеряемое сопротивление;

R_0 – магазин сопротивлений;

I_1, I_2 – токи в схеме (направление токов зависит от полярности напряжения питания);

R_g – добавочное сопротивление (ограничивает ток в цепи измерителя и при малых R).

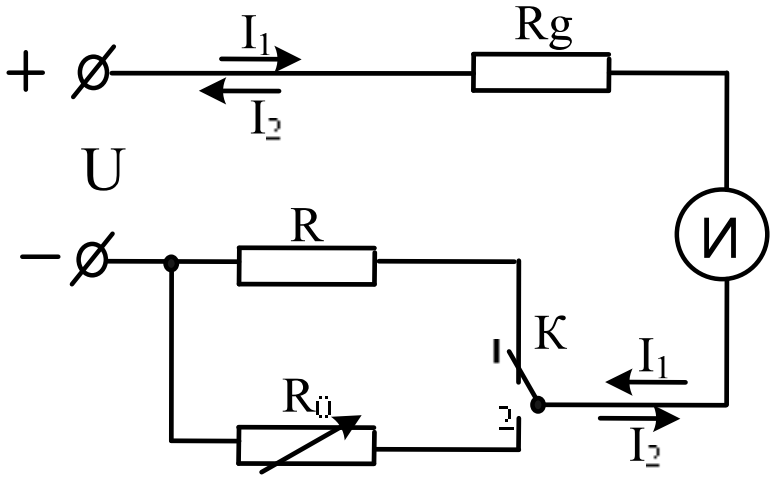


Рис. 24.13. Схема устройства для измерения сопротивления методом замещения

В качества измерителя «И» может быть использован миллиамперметр или вольтметр (миллиамперметр используется, если R > 1 кОм, и используется вольтметр, если измеряемое сопротивление R < 1 кОм).

Для проведения измерения сопротивления методом замещения необходимо выполнить нижеследующие операции.

Перевести ключ К в положение «1» и зафиксировать показания измерителя И при заданном напряжении питания U и заданном добавочном сопротивлении R_g.

Не меняя напряжение питания U и сопротивление R_g, перевести ключ К в положение «2». Изменяя сопротивление R_0, установить показание измерителя И

то же самое, что было в первом случае (при положении ключа К в позиции «1»).

При выполнении указанных условий измеряемое сопротивление R будет равно установленному сопротивлению R_0. Напомним, что R_0 представляет собой магазин сопротивлений, что позволяет набирать и удобно считывать набранные значения в широком диапазоне измерений. Например, магазин сопротивлений типа Р-33 позволяет набирать сопротивления от 0 до 99 999,9 Ом с шагом 0,1 Ом.

Измерение искомого сопротивления повторяется при смене полярности напряжения питания. Это делается с целью исключить влияние на результат контактных ЭДС и термоЭДС.

За результат измерения принимается среднее арифметическое значение по результатам двух экспериментов с разной полярностью напряжения питающего устройство источника питания.

Отметим, что добавочное сопротивление R_g необходимо при использовании в качестве измерителя И миллиамперметра и не требуется при использовании в качестве измерителя вольтметра.

24.4. Измерение больших сопротивлений

При измерении больших и особенно сверхбольших сопротивлений (например, сопротивление изоляционных материалов) необходимо считаться с тем, что сопротивление изоляции соединительных проводов соизмеримо с искомым сопротивлением. Для исключения больших погрешностей, возникающих из-за этого обстоятельства, в измерительные схемы вводят специальные «охранные кольца» и используются специфические методы измерений.

Наибольшее распространение для измерения больших сопротивлений получил метод вольтметра и амперметра, уже рассмотренный в п. 24.1 учебного пособия.

При измерении больших сопротивлений различают метод измерения объемных и метод измерения поверхностных сопротивлений. Рассмотрим оба метода более детально.

Измерение объемных сопротивлений

Схема устройства для измерения объемного сопротивления приведена на рис. 24.14.

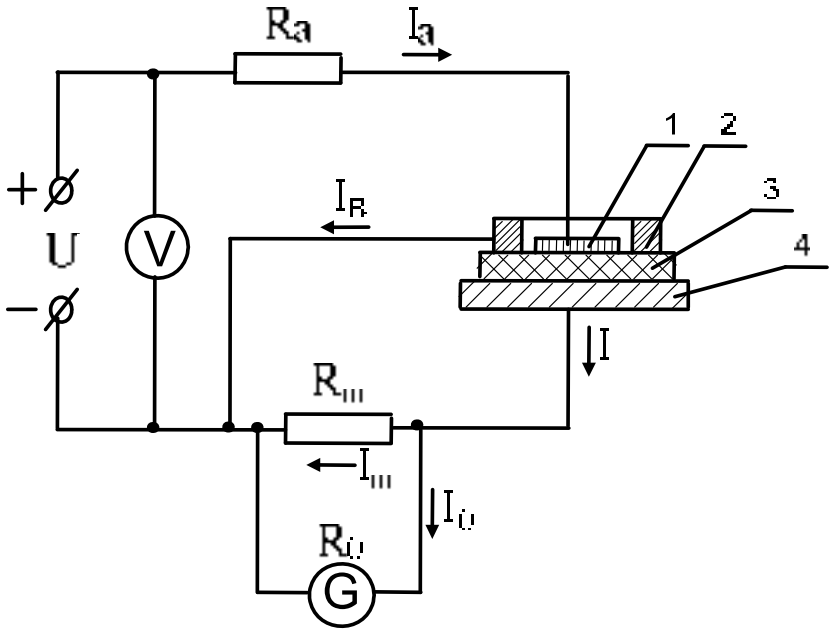


Рис. 24.14. Схема устройства для измерения объемного сопротивления:
1, 4 – контактные пластины; 2 – охранное кольцо; 3 – исследуемый образец;
U – напряжение источника питания; V – вольтметр; $R_а$ – защитное сопротивление;
$R_ш$ – сопротивление шунта; G – гальванометр; $R_о$ – внутреннее сопротивление гальванометра

Плоский образец изоляционного материала 3, объемное сопротивление которого измеряется, помещается между двумя металлическими (обычно – медными) электродами 1 и 4 (см. рис. 24.14).

К поверхности образца, на которой расположен электрод 1, прижат третий металлический электрод 2, выполненный в виде кольца («охранное кольцо»). Этот электрод («охранное кольцо») соединен с источником питания, как показано на рис. 24.13. Таким образом, через гальванометр G (вместе с шунтом $R_ш$) протекает тот же ток I, что и через измеряемое сопротивление. Отметим, что $I = I_а – I_в$ и что гальванометр градуируется вместе с шунтом и его показания соответствуют измеряемому току I. Шунт к гальванометру предусмотрен в связи с тем, что измеряемые сопротивления и соответственно ток I могут изме-

няться в широких пределах. Наличие шунта позволяет расширить диапазон измерения гальванометра, что расширяет возможности устройства в целом.

Защитное сопротивление R_a, предусмотренное в схеме, защищает устройство от возможных коротких замыканий. Обычно сопротивление R_a = 1 МОм. А поскольку устройство предназначено для измерения очень больших объемных сопротивлений, достигающих значений (10^{13}–10^{14}) Ом, то погрешность от введения в схему сопротивления R_a мала и практического значения не имеет.

Искомое объемное сопротивление образца определяется по закону Ома:

$$R = \frac{U}{I}, \tag{24.32}$$

где R – искомое объемное сопротивление исследуемого образца 3 (см. рис. 24.14);

U – показание вольтметра V;

I – показание гальванометра G.

Выражение (24.32) правомерно, если гальванометр проградуирован совместно с шунтом. В этом случае искомое объемное сопротивление исследуемого образца будет определяться соотношением

$$R = n\frac{U}{I_0}, \tag{24.33}$$

где n – коэффициент шунтирования, зависящий от значения сопротивлений $R_ш$ и R_0 (см. п. 22.2 учебного пособия);

I_0 – ток через гальванометр;

R, U – определены выше.

Измеритель G должен обеспечить измерение малых токов, значения которых могут быть не более 10^{-6}–10^{-9} А.

Использование в качестве G нормальных гальванометров магнитоэлектрической системы позволяет измерять объемные сопротивления R от 10^{14} Ом; использование баллистических гальванометров позволяет измерять значения R до 10^{16} Ом; использование в качестве измерителей электронных приборов позволяет повысить верхний предел измерения до 10^{17} Ом.

Измерение поверхностных сопротивлений

Схема устройства для измерения поверхностного сопротивления приведена на рис. 24.15.

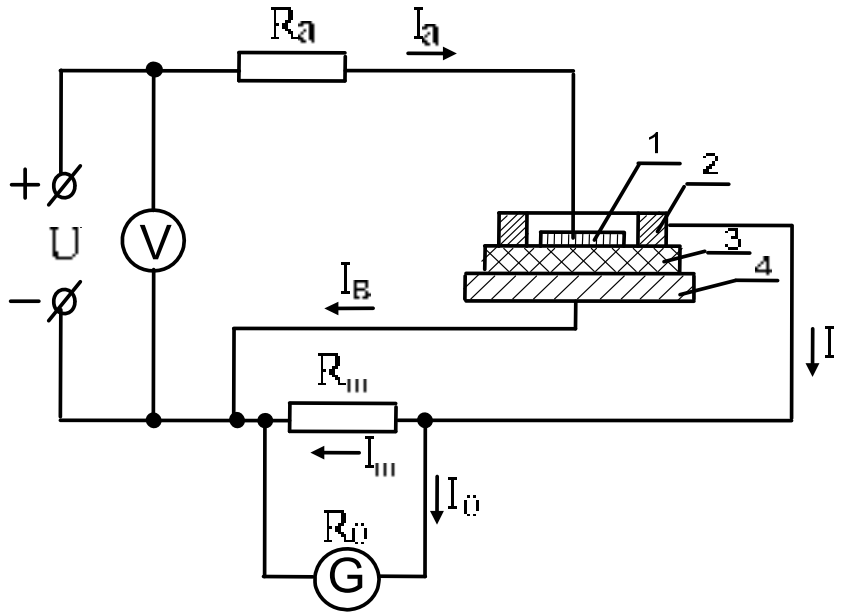


Рис. 24.15. Схема устройства для измерения поверхностного сопротивления:
1, 4 – контактные пластины; 2 – кольцевой электрод; 3 – исследуемый образец;
U – напряжение источника питания; V – вольтметр; $R_а$ – защитное сопротивление;
$R_ш$ – сопротивление шунта; G – гальванометр; R_0 – сопротивление гальванометра

Плоский образец изоляционного материала 3, поверхностное сопротивление которого измеряется, помещается между двумя металлическими электродами 1 и 4. К поверхности образца, на которой расположен электрод 1, прижат третий металлический электрод 2, выполненный в виде кольца. Как видно из схемы (см. рис. 24.15), через гальванометр G протекает ток I, идущий от электрода 1 к кольцевому электроду 2 по поверхности исследуемого образца, тогда как ток $I_в$, протекающий от электрода 1 к электроду 4 через толщу образца, минует цепь гальванометра. Поэтому отношение напряжения U к току I равно сопротивлению части поверхности образца, заключенной между электродом 1 и кольцом 2, т. е.

$$R = \frac{U}{I}, \qquad (24.34)$$

где R – искомое поверхностное сопротивление исследуемого образца;

U, I – определены выше.

Сведения о подключении и градуировке гальванометра, а также о требованиях к чувствительности гальванометра уже приведены в пункте «Измерения объемных сопротивлений». Эти сведения целиком правомерны для рассматриваемого случая (при измерении поверхностного сопротивления) и, в силу этого, в данном пункте не рассматриваются.

Примеры стандартных приборов для измерения сопротивлений (малых, средних и больших), выпускаемых промышленностью, приведены в прил. 5 (см. табл. П. 5.1, П. 5.2 и П. 5.3).

Технические характеристики тераомметра типа Е6-14, рассматриваемые в качестве примера, приведены в табл. 24.3.

Таблица 24.3

Основные технические характеристики тераомметра типа Е6-14

Измеряемая величина	**Диапазон измерений, Ом**	**Допускаемая погрешность измерения**	**Габариты, мм Масса, кг**
Сопротивление постоянному току	$10^{17}…10^{17}$	± (4–10) % длины рабочей части шкалы	Прибора 320×210×295; Измерительной камеры 380×240×345; 14 (с измерительной камерой)

В данном пункте учебного пособия рассмотрена только часть методов, используемых для измерения сопротивлений (как малых, так и средних, и больших). Дополнительные сведения по методам измерения сопротивления можно найти в литературе, приведенной в библиографическом списке [1; 2; 5–7; 9; 36].

25. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

25.1. Общие положения

Температура характеризует тепловое состояние вещества. Оно определяется кинетической энергией поступательного движения молекул. Чем больше кинетическая энергия молекул, тем выше температура.

Верхний предел температуры пока не установлен. Примеры высоких температур: температура поверхности Солнца – примерно 6 000 °С; температура внутри Солнца – около $20 \cdot 10^6$ °С; еще более высокие температуры имеют белые и голубые звезды-карлики.

Нижний предел температуры соответствует такому состоянию вещества, при котором прекращается поступательное движение молекул. Это происходит при температуре, равной абсолютному нулю: 0 К или –273,15 °С. Абсолютный нуль – величина расчетная. Экспериментально достигнутая минимальная температура отличается от абсолютного нуля на сотые доли градуса.

Непосредственно воспринимать температуру человек может лишь качественно (холодно, тепло, горячо).

Для количественной оценки температуры необходимы технические средства. Технические средства преобразуют температуру с помощью термометрических тел к виду, удобному для восприятия человеком (в дальнейшем – оператором). Например, температура может преобразовываться в длину столбика ртути (ртутные термометры), в электрическое сопротивление (измерители температуры на основе термосопротивлений ТС), в термоЭДС (измерители температуры на основе термопар ТП) и т. д. Отметим, что электрическое сопротивление и термоЭДС не могут быть восприняты оператором непосредственно. Преобразователи ТС и ТП подключаются к вторичным приборам, с которых и производится отсчет показаний.

Для количественной характеристики теплового состояния вещества введены температурные шкалы. В настоящее время нашли практическое применение четыре шкалы: шкала Фаренгейта (используется в США), шкала Реомюра

(используется в Западной Европе); шкала Кельвина (используется в научных исследованиях); шкала Цельсия (используется в большинстве стран, в том числе и в России, как практическая шкала).

Рассмотрим перечисленные температурные шкалы. В 1715 г. немецкий физик Г.Д. Фаренгейт изготовил ртутный термометр и предложил температурную шкалу, получившую в дальнейшем наименование «шкала Фаренгейта» и градуируемую в градусах Фаренгейта (°F). За градус Фаренгейта была принята температура смеси: лед + соль + нашатырь; температура тающего льда принята за +32 °F; температура кипящей воды принята за +212 °F. Температурный интервал от тающего льда до кипящей воды разделен на 180 частей, и 1/180 часть этого интервала принята за 1 °F.

В 1730 г. французский естествоиспытатель Р.А. Реомюр изготовил спиртовой термометр и предложил свою температурную шкалу, получившую в дальнейшем наименование «шкала Реомюра», которая градуируется в «градусах Реомюра» (°R). Реомюр предложил разделить температурный интервал от температуры тающего льда (принятого за 0 °R) до температуры кипящей воды (принятой за +80 °R) на 80 частей. 1/80 часть этого интервала принята за 1°R.

В 1742 г. шведский физик и астроном Цельсий предложил стоградусную температурную шкалу, получившую в дальнейшем наименование «шкала Цельсия». Цельсий предложил разделить температурный интервал от температуры тающего льда (принятой за 0 °C) до температуры кипящей воды (принятой за 100 °C) на 100 частей. 1/100 часть этого интервала принята за 1 °C.

Отметим, что температура тающего льда и температура кипящей воды соответствует нормальному атмосферному давлению (равному 760 мм рт. ст.).

В 1848 г. английский физик лорд Кельвин (до присвоения почетного титула лорда имел имя Уильям Томсон) ввел понятие абсолютного температурного нуля и предложил абсолютную температурную шкалу, получившую в дальнейшем наименование «шкала Кельвина» или «абсолютная термодинамическая шкала». Единица измерения абсолютной температурной шкалы до 1967 г. именовалась «градус Кельвина» и обозначалась – 1°К. После 1967 г. единица изме-

рения абсолютной температурной шкалы стала именоваться «Кельвин» и обозначаться 1 К.

Основные реперные точки абсолютной температурной шкалы:

0 К – абсолютный ноль (–273,15 °С);

273,15 К – температура тающего льда (0 °С) при атмосферном давлении 760 мм рт. ст.;

373,15 К – температура кипящей воды (100 °С) при атмосферном давлении 760 мм рт. ст.

Искомые значения, выраженные в единицах разных температурных шкал, связаны между собой соотношением

$$\theta_1\,^0\mathrm{C} = \frac{5}{4}\theta_2\,^0R = \frac{5}{9}(\theta_3 - 32)\,^0\mathrm{F} = (T - 273{,}15)\ \mathrm{K}, \qquad (25.1)$$

где θ_1, θ_2, θ_3 – значения температуры, выраженные (соответственно) в единицах шкал Цельсия, Реомюра, Фаренгейта;

T – значение термодинамической температуры, выраженное в единицах шкалы Кельвина.

Международная система единиц (СИ), узаконенная на территории Российской Федерации государственным стандартом ГОСТ 8.417–202 [116], использует в качестве основной единицы термодинамическую температуру. Кроме термодинамической температуры, допускается применять температуру Цельсия. Термодинамическую температуру, как уже отмечалось, выражают в кельвинах, температуру Цельсия – в градусах Цельсия. По размеру градус Цельсия равен кельвину (1 К = 1°С).

Использование температурных шкал Фаренгейта и Реомюра и соответственно выражение температуры в градусах Фаренгейта и Реомюра государственным стандартом [49] не предусмотрено.

В п. 1.4.2 учебного пособия приведено определение единицы измерения кельвин (см. табл. 1.1). Приведем это определение еще раз:

«Кельвин есть единица термодинамической температуры, равная 1/273,16 части термодинамической температуры тройной точки воды».

Тройная точка воды – это равновесное состояние трех фаз вещества: твердой, жидкой и газообразной (рис. 25.1, точка «А»).

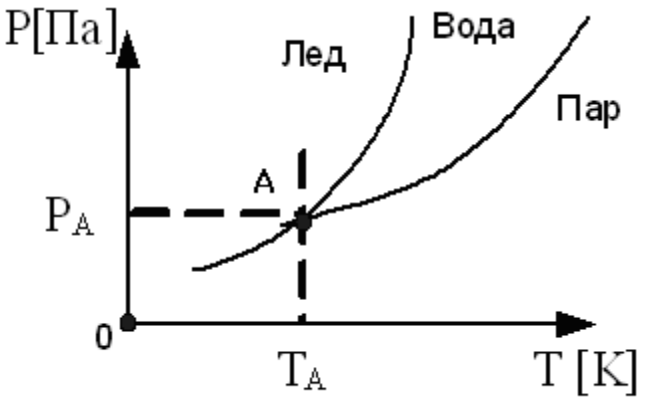


Рис. 25.1. Зависимость P = f(T) для воды:
P – давление; *T* – температура; *A* – тройная точка воды.

Температура тройной точки (точки одновременного сосуществования льда, воды и пара) T_A = +0,01 °С (273,16 К) при давлении P_A = 4,58 мм рт. ст. (610,6 Па).

Эталон для воспроизведения единицы температуры Кельвина хранится в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» (эталон описан в учебных пособиях [3; 153; 154]).

Особенность температуры состоит в том, что она является неаддитивной физической величиной. Поэтому, если для измерения, например, длины, массы и других аддитивных величин можно ограничиться одним эталоном (эталоном метра, килограмма и др.), то для температуры воспроизведения одной эталонной точки недостаточно. Измерение температуры требует точного воспроизведения многих температурных точек, совокупность которых образует температурную шкалу. Температуры, определяемые по этой шкале, должны максимально совпадать с термодинамической шкалой Кельвина. Сформулированным требованием отвечает Международная температурная шкала 1990 г. (МТШ-90). При этом основной реперной точкой шкалы остается кельвин (К), воспроизводимый в тройной точке воды. Эталон, воспроизводящий размер кельвина, был и остается «держателем» единицы температуры.

В табл. 25.1 приведены основные «приписанные» Международным комитетом по мерам и весам значения температур фазового равновесия веществ и материалов. Все значения температуры фазового равновесия даны для нормального атмосферного давления (P = 101 325 Па).

Таблица 25.1

Основные реперные точки по МТШ-90

Состояние фазового равновесия	**Значения по МТШ-90**	
	T_{90}, К	**t_{90},°С**
Давление насыщенных паров гелия	0,65…5	–272,50…–268,15
Тройная точка водорода	13,803	–259,346
Точка кипения водорода	20,280	–252,870
Тройная точка аргона	83,805	–189,344
Тройная точка ртути	234,315	–38,834
Тройная точка воды	273,16	+0,01
Точка кипения воды	373,15	100
Точка плавления индия	429,748	156,598
Точка плавления скандия	505,078	231,928
Точка плавления цинка	692,677	419,527
Точка плавления алюминия	933,473	660,323
Точка плавления серебра	1234,93	961,78
Точка плавления золота	1337,33	1064,18
Точка плавления меди	1357,77	1084,62

МТШ-90 охватывает область от 0,65 К до наивысшей температуры, практически доступной измерению в соответствии с законом излучения Планка (для монохроматического излучения). Приписанные значения температуры МТШ-90 обозначаются символом T_{90} при выражении температуры в кельвинах и символом t_{90} при выражении температуры в градусах Цельсия.

В соответствии с реперными точками, приведенными в табл. 25.1, созданы соответствующие эталоны для температур, лежащих выше и ниже температур тройной точки воды.

Измерение температуры может проводиться контактными и бесконтактными методами. При контактном методе измерения температуры измерители

температуры непосредственно контактируют со средой, температура которой измеряется. Приборы для контактного измерения температуры называются *термометрами*.

При бесконтактном измерении температуры измерители непосредственно со средой, температура которой измеряется, не контактируют. Измерение в этом случае осуществляется дистанционно. Приборы для бесконтактного (дистанционного) измерения температуры принято называть *пирометрами*.

25.2. Термометры

Термометрами принято называть приборы, используемые для контактного измерения температуры. Наибольшее распространение получили средства измерения температуры следующих типов:

1) жидкостные;
2) манометрические;
3) дилатометрические;
4) биметаллические;
5) электрические.

Электрические измерители температуры строятся на основе термочувствительных преобразователей (например, термосопротивлений или термопар), работающих совместно с вторичной аппаратурой. Термочувствительные преобразователи (датчики) и вторичная аппаратура уже рассмотрены выше и повторно в данном параграфе учебного пособия не приводятся.

Жидкостные термометры

На рис. 25.2 приведена одна из возможных конструкций жидкостного термометра.

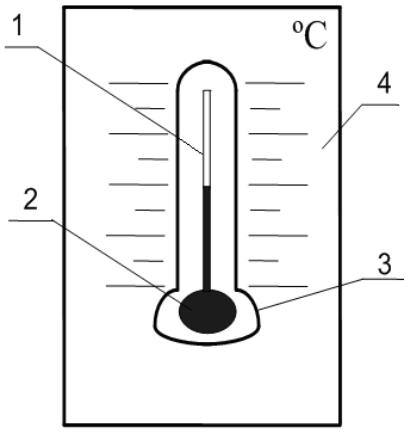


Рис. 25.2. Жидкостный термометр:
1 – капиллярная трубка; 2 – термометрическая жидкость; 3 – баллон (резервуар); 4 – шкала

Термометрическая жидкость 2 заполняет баллон 3 и часть капиллярной трубки 1. Свободное пространство в капилляре заполняется инертным газом под давлением или из него выкачивается воздух. Об измеряемой температуре судят по высоте жидкости в капилляре. Отсчет показаний производится по шкале 4. Шкала может быть нанесена на капилляр или может быть приложена к капиллярной трубке (как показано на приводимом рисунке).

Термометры с нанесенной на капилляр шкалой называются термометрами типа А («палочными»), а при отдельной прикладной шкале – типа Б (с вложенной шкальной пластиной).

Термометрические жидкости, используемые в жидкостных термометрах, и их основные характеристики приведены в табл. 25.2. Максимальная измеряемая температура приведена для двух случаев: свободное пространство над термометрической жидкостью в капиллярной трубке заполнено инертным газом под давлением от 5 до 7 МПа (обозначено 5–7 МПа) и из свободного пространства над жидкостью откачен воздух (обозначено 0 МПа).

Таблица 25.2

Основные характеристики термометрических жидкостей

Термометрическая жидкость	Измеряемая температура, °С		
	Минимальная	Максимальная	
		0 МПа	5–7 МПа
Ртуть	–35	350	900
Подкрашенный спирт	–100	+45	+79
Толуол	–90	+90	+111
Пентан технический	–200	+25	+36
Подкрашенный эфир	–100	+20	+35

Жидкостные термометры выпускаются трех разновидностей: промышленные (основные обозначения «ТП»); лабораторные («ТЛ»); образцовые («ТО»).

Промышленные термометры имеют шкалы с ценой деления от 0,5 до 10 °С и позволяют проводить измерение температуры с погрешностью от 0,5 до 10 °С.

Лабораторные термометры имеют цену деления шкалы от 0,2 до 2 °С и погрешность от 0,2 до 2 °С.

Образцовые термометры имеют цену деления шкалы от 0,01 до 0,1 °С и погрешность от 0,015 до 0,1 °С.

В качестве примера в прил. 12 приведены технические характеристики нескольких типов промышленных, лабораторных и одного образцового термометров.

Показания жидкостного термометра зависят не только от температуры баллона (резервуара), но и от температуры столбика жидкости в капилляре. Образцовые термометры и некоторые лабораторные градуируются при полном погружении термометра в измеряемую среду до отсчитываемой температурной отметки. Если глубина погружения термометра не соответствует условиям градуировки, то появляется дополнительная погрешность, что необходимо учитывать.

Промышленные (называемые иногда «технические») и часть лабораторных термометров градуируются при частичном погружении на определенную глубину. Глубина погружения нормируется (см. прил. 12) и, как правило, приводится в паспортных данных конкретных типов термометров.

Для защиты от механических повреждений промышленные (технические) термометры часто помещают в защитную арматуру. Для удобства наблюдения сами термометры и защитная арматура к ним выпускаются прямыми и угловыми.

Выпускаются также ртутные электроконтактные термометры, предназначенные для сигнализации или поддержания заданной температуры. Термометры выпускаются с заданными постоянными контактами (ТЗК) или с подвижным контактом (ТПК). Кроме электроконтактных термометров, выпускаются бесшкальные термоконтакторы, которые настроены на определенные температуры замыкания электрических контактов. Дополнительные сведения по жидкостным термометрам и их паспортным данным можно найти в литературе [3; 32; 38].

Манометрические термометры

Схема манометрического термометра приведена на рис. 25.3.

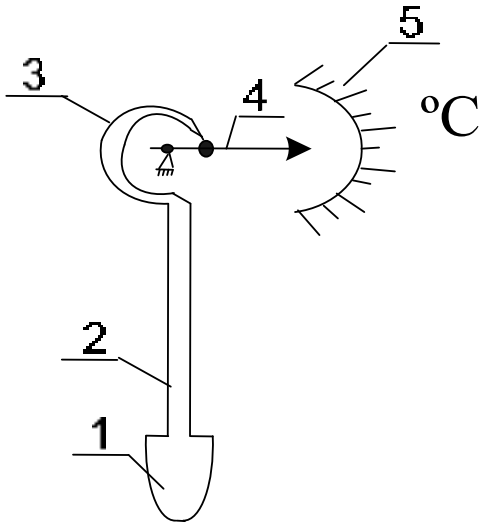


Рис. 25.3. Схема манометрического термометра:
1 – термометрический баллон; 2 – капиллярная трубка; 3 – трубчатая пружина (деформационный манометрический преобразователь); 4 – стрелка прибора; 5 – шкала, проградуированная в градусах Цельсия

Принцип действия манометрических термометров основан на изменении давления рабочего вещества в замкнутом объеме в зависимости от температуры чувствительного элемента (термометрического баллона).

Основными частями манометрических термометров являются термобаллон (чувствительный элемент), капиллярная трубка и трубчатая пружина (деформационный манометрический преобразователь), связанная со стрелкой прибора.

Различают три типа манометрических термометров: газовые, жидкостные и конденсационные.

В газовых приборах термобаллон и вся система заполняются газом (азотом, гелием или каким-либо другим инертным газом).

В жидкостных приборах термобаллон и вся система заполняются термометрической жидкостью с большим коэффициентом теплового расширения (ртуть, керосин, лигроин и др.). Могут также использоваться термометрические жидкости, приведенные в табл. 25.2.

В конденсационных приборах термобаллон на 2/3 заполняется жидкостью, кипящей при низких температурах (фреон, ацетон, CO_2 и др.). Оставшаяся часть термобаллона и вся система (капилляр и трубчатая пружина) заполняются при этом парами этой жидкости.

Газовые и жидкостные приборы имеют линейную шкалу. У конденсационных приборов шкала нелинейна.

При нагреве термобаллона газ или жидкость, находящиеся в нем, нагреваются и в системе создается повышенное давление. Трубчатая пружина 3 (см. рис. 25.3) под действием повышенного давления разворачивается и перемещает стрелку 4 вдоль оцифрованной шкалы 5. При понижении измеряемой температуры и соответственно температуры термобаллона давление жидкости или газа понижается, трубчатая пружина 3 под действием упругих сил сворачивается и стрелка 4 перемещается в сторону малых температур на шкале 5.

В конденсационных приборах при нагреве термобаллона усиливается испарение рабочей жидкости, за счет чего повышается давление паров и трубчатая пружина 3 разворачивается.

При понижении температуры термобаллона пары жидкости конденсируются и их давление понижается, что приводит к сворачиванию трубчатой пружины 3 и соответствующему перемещению стрелки 4.

При разворачивании и сворачивании трубчатой пружины развиваются значительные усилия, что позволяет нагружать подвижную часть манометрических термометров не только указательной стрелкой, но и электрическими контактами.

Газовые манометрические термометры выпускаются на температуры от -200 °С до +600 °С с классом точности (1,0–1,5).

Жидкостные приборы выпускаются на температуры от –50 °С до +600 °С класса точности (1,5–2,5).

Конденсационные приборы выпускаются на температуры от 0 °С до +400 °С класса точности (1,5–2,5).

Капиллярная трубка 2 (см. рис. 25.3) для всех типов манометрических термометров имеет длину от 1–2 м до 20–25 м и даже более, что позволяет использовать эти приборы для дистанционных измерений температуры.

В качестве примера в прил. 13 приведены технические характеристики нескольких типов газовых, жидкостных и конденсационных манометрических термометров. Дополнительные сведения по рассмотренным приборам можно найти в литературе [3; 32; 38].

Дилатометрические термометры

Схема дилатометрического термометра приведена на рис. 25.4.

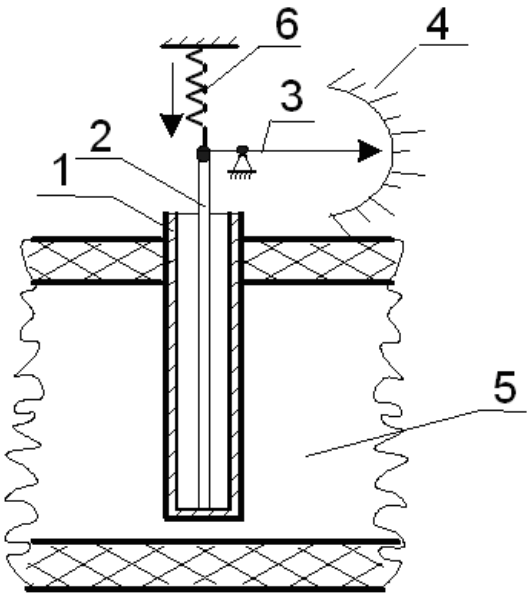


Рис. 25.4. Схема дилатометрического термометра:
1 – термочувствительный стакан; 2 – шток; 3 – стрелка; 4 – шкала;
5 – исследуемая среда; 6 – пружина (прижимает шток ко дну стакана)

Термометрический стакан 1 и шток 2 изготовляются из материалов, имеющих различные коэффициенты линейного температурного расширения α_1 и α_2. Обычно стакан изготовляют из алюминия ($\alpha_1 = 23 \cdot 10^{-6}$ К$^{-1}$), а шток – из инвара (железоникелевого сплава) ($\alpha_2 = 1 \cdot 10^{-6}$ К$^{-1}$). Таким образом, при изменении температуры исследуемой среды 5 длина стакана 1 изменяется значительно больше, чем длина штока 2. Шток прижимается пружиной 6 к дну стакана.

При увеличении температуры стакан удлиняется и шток (под действием пружины) вместе с концом стрелки, жестко скрепленной со штоком, перемещается вниз. При уменьшении температуры длина термометрического стакана уменьшается и шток (вместе с концом стрелки), преодолевая сопротивление пружины 6, перемещается вверх.

Стрелка 3 перемещается вдоль шкалы, проградуированной в градусах Цельсия, по которой и производится отсчет показаний.

При температурных деформациях стакана 1 развиваются значительные усилия, что позволяет нагружать подвижную часть прибора электрическими контактами и строить на его основе терморегуляторы.

Дилатометрические термометры работают в диапазоне температур от 0 °С до 1000 °С с погрешностью до ±5 %. Из-за большой погрешности дилатометрических устройств их редко используют в качестве термометров. Чаще их используют как терморегуляторы, термовыключатели и тепловые реле.

К достоинствам рассматриваемых устройств следует отнести их дешевизну, надежность и большие перестановочные усилия. Недостаток устройств – малая точность и большая инерционность.

Дополнительные сведения по дилатометрическим термометрам приведены в литературных источниках, представленных в библиографическом списке (см., например, [57]).

Биметаллические термометры

Схема биметаллического термометра приведена на рис. 25.5.

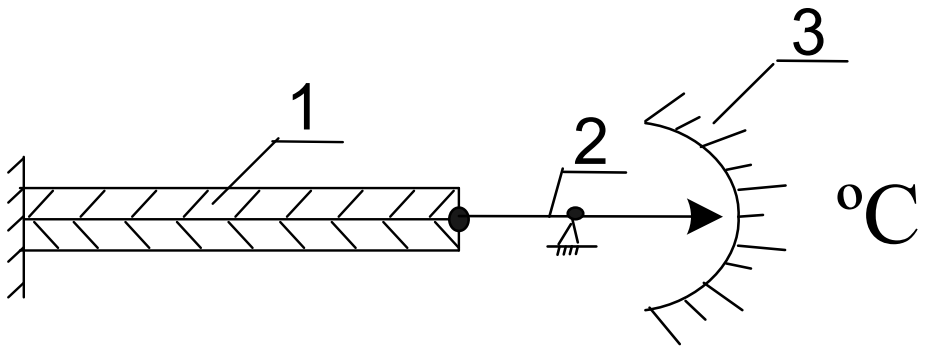


Рис. 25.5. Схема биметаллического термометра:
1 – двухслойная металлическая лента; 2 – стрелка (указатель); 3 – шкала

Биметаллические термометры состоят их двухслойных металлических лент (сваренных или спаянных между собой), образованных материалами с различными коэффициентами линейного температурного расширения. Наибольшее распространение получили латунь (сплав меди и цинка) и инвар (железоникелевый сплав).

При нагревании биметаллических элементов 1 происходит их деформация, которая используется для приведения в действие стрелки 2, перемещающейся вдоль оцифрованной шкалы 3.

Для плоской биметаллической пластины перемещение ее свободного конца при консольном закреплении:

$$x = S\Delta\theta \tag{25.2}$$

$$S = \frac{3(\alpha_1 - \alpha_2)l^2}{4h}, \tag{25.3}$$

где x – перемещение свободного конца биметаллической пластины;

S – чувствительность;

$\Delta\theta$ – приращение температуры;

α_1, α_2 – температурные коэффициенты линейного расширения сваренных (или спаянных) пластин;

l – общая длина пластин;

h – общая толщина пластин.

Биметаллические термометры используются в диапазоне температур от 0 до 500 °С. Погрешность измерения температуры такими термометрами велика и может достигать ±5 %. Из-за большой погрешности биметаллические устройства редко используют для измерения температуры. Чаще их применяют в качестве чувствительных элементов в терморегуляторах (например, в утюгах), а также в качестве элементов компенсации температурных погрешностей приборов. К достоинствам рассматриваемых устройств следует отнести их дешевизну, надежность и большие перестановочные усилия, что позволяет нагружать их сравнительно мощными электрическими контактами. К недостаткам следует отнести малую точность и большую инерционность.

В заключение отметим особенности измерения температуры контактным методом с использованием рассмотренных термометров.

Во всех термометрах чувствительный элемент (ЧЭ) соприкасается с контролируемой средой, температура которой измеряется. При этом температура ЧЭ (в идеале) должна совпадать с температурой среды. Совпадение этих температур зависит от многих факторов, в том числе от размеров, формы и материала ЧЭ и от условий передачи тепла от среды к ЧЭ.

Передача тепла может происходить путем конвекции, лучеиспускания и теплопроводности. Теплообмен путем конвекции имеет место при измерении температуры жидкостей и газов.

При измерении температуры твердых тел в основе передачи тепла лежит теплопроводность.

Очевидно, что для улучшения теплообмена между ЧЭ и средой необходимо увеличивать площадь их соприкосновения. При измерении температуры жидкости и газов к этому требованию добавляется необходимость увеличивать теплопередачу путем, например, увеличения скорости обтекания ЧЭ средой.

При изменении температуры исследуемой среды возникают динамические погрешности. Под динамической погрешностью понимают запаздывание в показаниях термометра, вызванное конечной скоростью передачи тепла от исследуемой среды к ЧЭ. Подробно этот вопрос рассмотрен в главе 10 учебного пособия, где рассматривается динамика термочувствительных датчиков, которые выступают в качестве ЧЭ соответствующего термометра.

Более детально с методами контактного измерения температуры и с используемыми при этом термометрами можно ознакомиться по литературным источникам [1; 2; 3; 8; 32; 33; 37; 38; 57–59].

25.3. Пирометры

Пирометрами называют приборы для бесконтактного измерения температуры. Работа пирометров основана на использовании энергии теплового излучения нагретых тел. Оно характеризуется распространением электромагнитных излучений, которые могут восприниматься другими телами. Электромагнитные излучения имеют широкий частотный спектр (от ультрафиолетового до инфракрасного). Пирометры используют все части спектра, но наибольшее распространение получили приборы, работающие в оптической (видимой) и инфракрасной частях спектра.

По принципу действия различают следующие типы пирометров:

1) оптические;
2) радиационные;
3) яркостные;
4) цветовые и некоторые другие.

Оптические пирометры работают в оптической (видимой) части спектра. В этих приборах интенсивность свечения исследуемого тела (температура которого измеряется) сравнивается с интенсивностью свечения нити лампы накаливания.

Радиационные пирометры основаны на измерении интенсивности интегрального (суммарного) излучения во всем спектре (от ультрафиолетового излучения до инфракрасного).

Яркостные пирометры основаны на измерении спектральной интенсивности излучения в определенной части спектра.

Цветовые пирометры основаны на измерении отношения спектральной интенсивности в двух частях спектра.

Ниже приводятся описания оптических и радиационных пирометров.

Оптические пирометры

Схема оптического пирометра приведена на рис. 25.6.

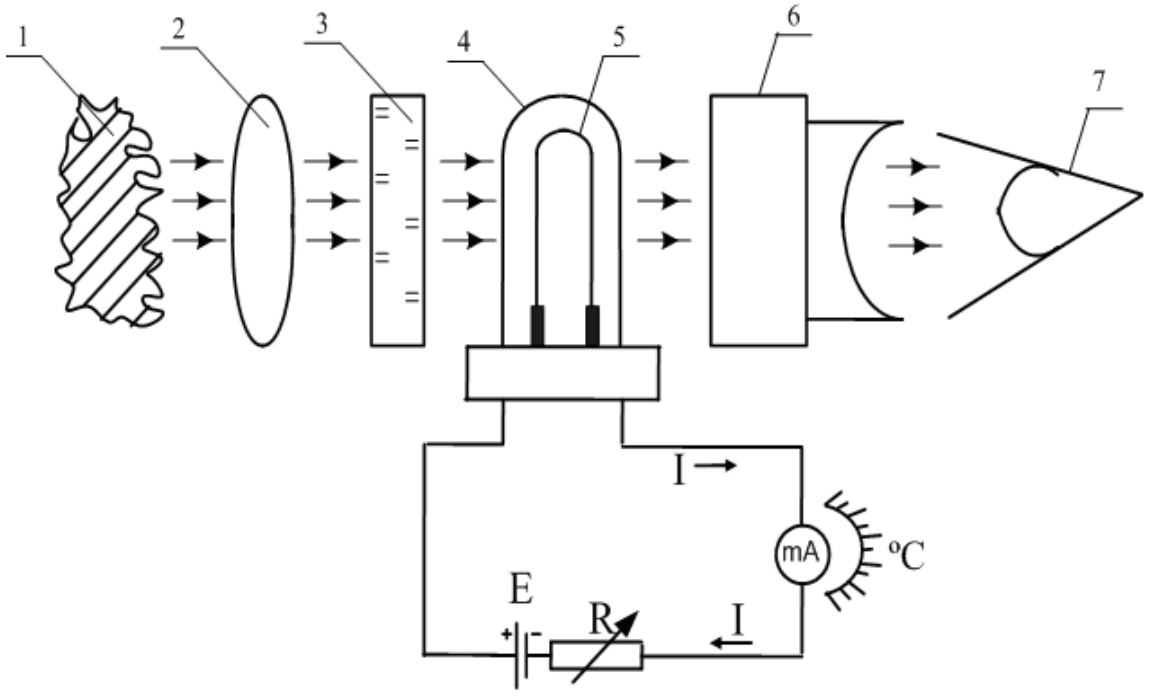


Рис. 25.6. Схема оптического пирометра:
1 – исследуемый объект, температура которого измеряется;
2 – оптическая система; 3 – светофильтр; 4 – термометрическая лампа;
5 – нить накаливания; 6 – окуляр; 7 – глаз оператора;
E – ЭДС источника питания; *R* – переменное сопротивление;
I – ток в цепи; mA – миллиамперметр, проградуированный в градусах Цельсия

Для проведения измерения оператор должен направить пирометр на исследуемый объект, температура которого измеряется. При этом оператор видит одну их трех картинок (рис. 25.7, *a*, рис. 25.7, *b*, рис. 25.7, *c*).

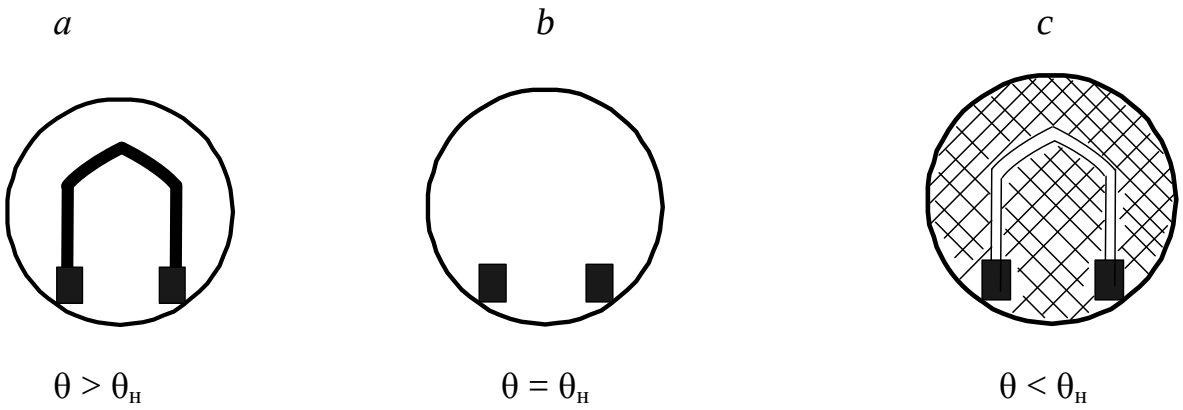


Рис. 25.7. Характерный вид «картинок» при проведении измерений:
$\theta_н$ – температура исследуемого тела; $\theta_н$ – температура нити накаливания;
a – измеряемая температура больше температуры нити накаливания термометрической лампы; *b* – измеряемая температура равна температуре нити накаливания термометрической лампы; *c* – измеряемая температура меньше температуры нити накаливания термометрической лампы

Если температура исследуемого тела 1 больше температуры нити накаливания 5 термометрической лампы 4, то оператор видит в окуляре 6 темную нить на светлом фоне (рис. 25.7, *a*). Яркость свечения нити регулируется переменным сопротивлением *R* (см. рис. 25.6). Оператор изменяет сопротивление *R* до тех пор, пока нить не сольется с фоном, который дает исследуемый объект (рис. 25.7, *b*). В этом случае температура нити накаливания равна температуре исследуемого объекта, что достигается при вполне определенном токе *I*, протекающем по нити накаливания и по миллиамперметру под воздействием ЭДС источника питания.

При измеряемой температуре меньшей температуры нити накаливания оператор видит в окуляре светлую нить на темном фоне (рис. 25.7, *c*). В этом случае с помощью переменного сопротивления *R* уменьшается ток *I* до тех пор, пока нить накаливания не сольется с фоном от объекта исследования.

Отсчет показаний проводится по миллиамперметру (mA), проградуированному в градусах Цельсия. Градуировка проводится по абсолютному черному телу, что приводит к дополнительным погрешностям из-за неполноты излуче-

ния реальных физических тел (излучения реальных физических тел меньше излучения абсолютно черного тела).

Нижний предел измерения оптических пирометров органичен порогом светимости тел при нагревании. Тела начинают светиться при температуре около 600 °С. При этой температуре появляется слабое малиновое свечение, которое трудно уловить и трудно сравнить со свечением нити накаливания. Во избежание значительных погрешностей нижний предел измерения выбирается больше порога светимости. Как правило, нижний предел измерения оптических пирометров равен 800 °С.

Нить термометрической лампы допустимо накаливать до определенной температуры (обычно не более 1400 °С). Для увеличения верхнего предела измеряемых температур в пирометр вводится светофильтр 3 (иногда – несколько светофильтров с разной оптической плотностью для уменьшения светимости исследуемого тела в определенное число раз).

Промышленность выпускает различные типы оптических пирометров, с разными пределами измерения. Например, известен оптический пирометр типа ОППИР-017 с диапазоном от 800 до 6000 °С. Диапазон измерения разбит на пять следующих поддиапазонов:

(800–1400) °С – 1-й поддиапазон измерений;

(1400–3000) °С – 2-й поддиапазон измерений;

(3000–4000) °С – 3-й поддиапазон измерений;

(4000–5000) °С – 4-й поддиапазон измерений;

(5000–6000) °С – 5-й поддиапазон измерений.

Измерения на 1-м поддиапазоне проводятся без светофильтра; измерения на 2-м поддиапазоне проводятся с использованием светофильтра Ф1; на 3-м поддиапазоне – со светофильтром Ф2; на 4-м поддиапазоне – со светофильтром Ф3 и на 5-м – со светофильтром Ф4. Погрешность измерения зависит от поддиапазона измерений и составляет от 1,0 до 2,0 %.

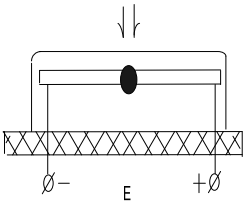
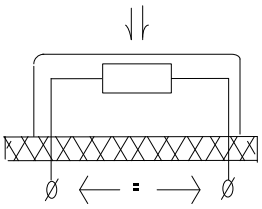
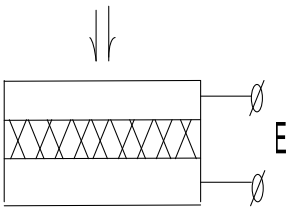
Описание и технические характеристики оптического пирометра «Проминь» приведены в прил. 14.

Радиационные пирометры суммарного излучения

Радиационные пирометры этого типа называют также пирометрами интегрального или полного излучения. Приемниками излучения в радиационных пирометрах суммарного излучения могут быть термобатареи (набор термопар); термосопротивления, в том числе полупроводниковые термисторы; пироэлектрические кристаллы (табл. 25.3). Приемники суммарного или полного излучения отличаются тем, что их спектральная чувствительность постоянна в широком диапазоне длин волн от дальней инфракрасной области до ближней ультрафиолетовой.

Таблица 25.3

Основные характеристики приемников суммарного (полного) излучения

Тип	**Термобатареи**	**Термосопротивления**	**Пироэлектрические приемники**
Принципиальная схема			
Инерционность, с	10^{-2}	10^{-3}	10^{-7}
Достоинства	Высокая временная стабильность	Большая чувствительность	Малая инерционность
Недостатки	Большая инерционность	Необходимость источника питания	Потеря работоспособности выше точки Кюри

Термобатареи выполняются на основе термопар, соединенных последовательно (до 20 термопар). Их горячие спаи располагаются на малом участке поверхности, на которой фокусируется излучение. Выходным параметром термобатареи является термоЭДС «±E».

Термосопротивления (полное наименование – «термопреобразователи сопротивления») изготавливаются из металлической фольги (обычно из материала пластины) либо из полупроводниковых материалов (термистов). В иностранной литературе термопреобразователи сопротивления (ТС) обычно назы-

вают *болометрами*. В отечественной технической литературе термин «болометр» иногда используется для обозначения полупроводниковых ТС. Выходным параметром ТС является активное сопротивление *R*.

Пироэлектрические приемники излучения – это кристаллы, в которых при изменении температуры появляется эффект спонтанной поляризации. Поэтому эти приемники излучения не требуют дополнительных источников питания. Пироэлектрические свойства проявляются в таких материалах, как монокристаллы триглицинсульфата и ниобата бария-стронция, монокристаллы и керамика титаната бария и некоторых других. При температуре выше точки Кюри поляризация исчезает. Для монокристаллов триглицинсульфата точка Кюри соответствует температуре +49 °С.

Фотоэлектрические приемники излучения (широко используемые в пирометрии) для пирометров суммарного излучения не применяются, т. к. их спектральная чувствительность неодинакова для различных длин волн и наиболее велика в видимой и ближней инфракрасной области спектра.

Схема радиационного пирометра суммарного излучения приведена на рис. 25.8.

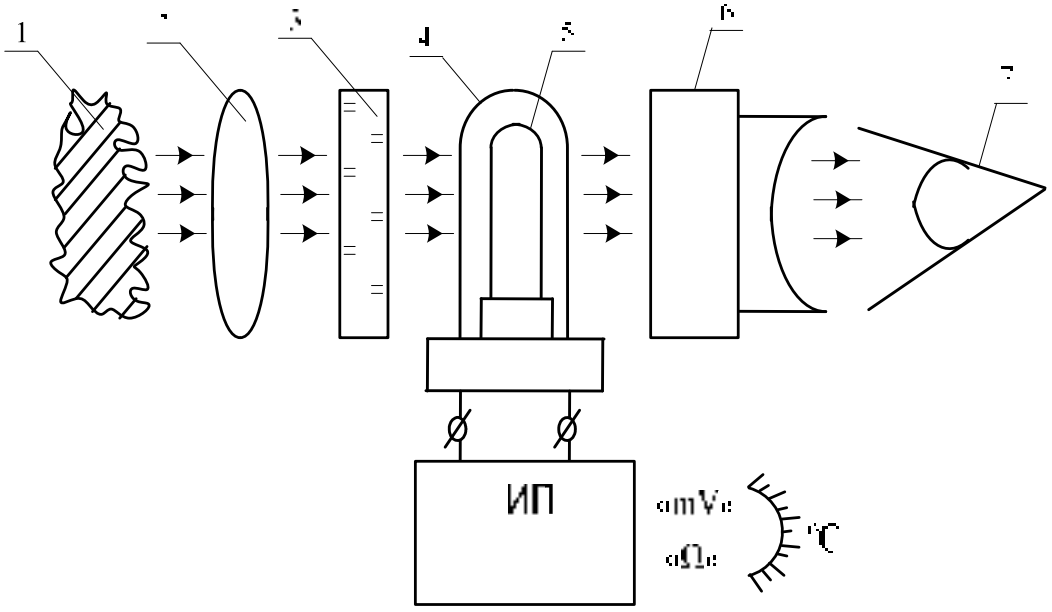


Рис. 25.8. Схема радиационного пирометра суммарного излучения:
1 – исследуемый объект, температура которого измеряется; 2 – оптическая система; 3 – светофильтр; 4 – термометрическое устройство; 5 – термочувствительный элемент; 6 – окуляр; 7 – глаз оператора; ИП – измерительный прибор (милливольтметр «mV» или омметр «Ω» в зависимости от типа термочувствительного элемента)

Работа описываемого пирометра протекает в следующей последовательности. Оператор через окуляр 6 направляет прибор на исследуемый объект. При этом суммарное излучение от исследуемого объекта 1 поступает на оптическую систему 2, которая направляет его через светофильтр 3 (вместо светофильтра может использоваться диафрагма) на приемник излучения 5. Приемник излучения может представлять собой, как уже отмечалось, батарею термопар, термосопротивление или пироэлектрический элемент.

Приемник излучения преобразует излучение в электрический сигнал (в темроЭДС, или в пироЭДС, или в электрический параметр (сопротивление)). Полученный электрический сигнал подается на электроизмерительный прибор ИП, проградуированный в единицах температуры (в градусах Цельсия). При использовании параметрических датчиков излучение преобразуется в сопротивление, для измерения которого может быть использован один из методов измерений сопротивления, описанных в главе 24 учебного пособия. Чаще используются мостовые методы измерения (в том числе автоматические мосты), но могут использоваться и обычные омметры, проградуированные в градусах Цельсия. При измерении термоЭДС и пироЭДС используются автоматические потенциометры, но могут быть применены стандартные аналоговые и цифровые милливольтметры, проградуированные в градусах Цельсия.

Конструктивно оптическая система, светофильтр, диафрагма, термочувствительный элемент и окуляр, как правило, составляют самостоятельный блок пирометра, который принято называть «телескоп». Измерительные приборы (ИП) образуют отдельный, самостоятельный блок пирометра.

Принципиально показания радиационного пирометра не должны зависеть от расстояния до исследуемого объекта при условии, что изображение излучающей поверхности полностью перекрывает термочувствительный элемент. Однако при близком расположении телескопа от излучающей поверхности происходит нагрев его корпуса, что вызывает дополнительные температурные погрешности или даже может вывести телескоп из строя. При большом удалении начинает сказываться столб атмосферного воздуха между объектом и теле-

скопом, который поглощает часть излучения. Особенно значительно возрастает поглощение излучения, если в воздухе присутствует пыль, дым, пар, углекислый газ или окись углерода. Наличие стекла между телескопом пирометра и излучателем также увеличивает погрешность измерения.

Нижний предел измеряемых температур для радиационных пирометров суммарного излучения составляет от 20–30 °С до 100–400 °С. Верхний предел измерения может быть от сотен до нескольких тысяч градусов Цельсия.

Для измерения температур в широком диапазоне выпускаются радиационные пирометры нескольких типов. Среди них, например, радиационные пирометры типа РАПИР с телескопом типа Тера-50, позволяющие бесконтактно измерять температуру от +100 до 400 °С с погрешностью от 4 до 8 %.

В прил. 15 приводится описание телескопа пирометра суммарного излучения типа ПИРС-019 с усилителем для бесконтактного измерения радиационной температуры поверхностей нагретых тел в диапазоне от +20–300 °С с погрешностью от ± 2,0 до ± 4,5 °С.

Более подробно с методами бесконтактного измерения температуры и с используемыми при этом средствами измерений можно ознакомиться по литературным источникам [1–3; 32–38; 57–59].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительно ограниченный объем учебного пособия не позволил рассмотреть все вопросы, возникающие при изучении метрологии и технических измерений. Степень важности опущенных или кратко рассмотренных вопросов различна. Одни из них носят чисто познавательный характер (например, история развития метрологии), другие – производственный (например, технология изготовления средств измерений), третьи имеют сугубо теоретический аспект (например, теоретические основы случайных погрешностей). При необходимости углубленные сведения по затронутым вопросам можно найти в литературных источниках, приведенных в обширном библиографическом списке [1–61].

Вопросы истории развития метрологии более подробно, чем в учебном пособии, изложены в литературе [10; 11].

Теоретическая метрология и вопросы обработки результатов измерений рассмотрены сравнительно кратко. При необходимости информацию в данных областях можно найти в [10; 11; 13; 27–30].

Поверка средств измерений, их калибровка, метрологическая аттестация и градуировка изучаются, обычно, в прикладной метрологии, и в настоящем пособии этим вопросам уделено мало внимания. Дополнительные сведения об этом приведены в [22].

Вопросы погрешностей средств измерений и погрешностей результатов измерений рассмотрены в пособии более или менее детально. Углубленные сведения по погрешностям можно почерпнуть в [7–11; 13; 19–21].

В учебном пособии рассмотрены лишь основные типы датчиков, что естественно при современном их многообразии. Дополнительные сведения о датчиках, о принципах их построения, применения и сопряжения с ЭВМ приведены в [3; 8; 32–34; 37; 38; 50].

Мостовые измерительные схемы рассмотрены в данном учебном пособии лишь с одной точки зрения – с точки зрения включения в них параметрических

датчиков. Более общий подход к мостовым измерительным схемам изложен в [35; 60].

Дополнительные сведения по электроизмерительным приборам можно почерпнуть в [6–9; 35; 36; 61].

Метрология и технические измерения относятся к областям, которые стремительно развиваются. Это приводит к тому, что учебники и учебные пособия быстро устаревают. Отсюда большое значение приобретает знакомство студентов с периодической литературой. Для облегчения поиска необходимой информации в библиографическом списке приведены ссылки на журнальные статьи [39; 40; 43].

Точностными характеристиками средств измерений и результатов измерений в настоящее время является погрешности. Существует предложение перейти на новую точностную характеристику – «неопределенность». В учебном пособии показано, что такой переход (от «погрешностей результатов измерений» к «неопределенностям результатов измерений) возможен при рассмотрении результатов измерений. Что же касается средств измерений, то переход от их погрешностей к неопределенностям затруднен (если вообще возможен). Нормативные документы по неопределенности, а также периодические издания по этой теме приведены в библиографическом списке [39–43].

Методы измерения электрических и неэлектрических величин и используемые при этом средства измерений рассмотрены сравнительно кратко. Дополнительные сведения по методам и средствам измерений можно найти в литературе [1–9; 18; 19; 33–37; 57; 58; 61–65].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Основы метрологии и электрические измерения**: учебник для вузов / под ред. Е.М. Душина. – Л. : Энергоатомиздат, 1987. – 480 с.

2. **Измерения электрических и неэлектрических величин**: учеб. пособие / под ред. Н.Н. Евтихаева. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.

3. **Туричин, А.М.** Электрические измерения неэлектрических величин: учеб. пособие для вузов / А.М. Туричин. – М.; Л. : Энергия, 1966. – 690 с.

4. **Методы электрических измерений**: учеб. пособие для вузов / под ред. Э.И. Цветкова. – Л. : Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.

5. **Куликовский, К.Л.** Методы и средства измерений: учеб. пособие для вузов / К.Л. Куликовский, В.Я. Купер. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 448 с.

6. **Метрология и радиоизмерения**: учебник для вузов / под ред. В.И. Нефедова. – М. : Высшая школа, 2003. – 526 с.

7. **Раннев, Г.Г.** Методы и средства измерений: учебник для вузов / Г.Г. Раннев, А.П. Тарасенко. – 5-е изд., стер. – М. : Издат. центр «Академия», 2008. – 336 с.

8. **Миронов, Э.Г.** Метрология и технические измерения: учеб. пособие / Э.Г. Миронов, Н.П. Бессонов. – Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2005. – 299 с.

9. **Дворяшин, Б.В.** Метрология и радиоизмерения: учеб. пособие / Б.В. Дворяшин. – М. : Издат. центр «Академия», 2005. – 304 с.

10. **Кузнецов, В.А.** Основы метрологии: учеб. пособие / В.А. Кузнецов, Г.А. Ялунина. – М. : Изд-во стандартов, 1998. – 336 с.

11. **Кузнецов, В.А.** Метрология / В.А. Кузнецов, Л.К. Исаев, И.А. Шайко. – М. : Стандартинформ, 2005. – 300 с.

12. **Шишкин, И.Ф.** Теоретическая метрология: учебник для вузов / И.Ф. Шишкин. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 492 с.

13. **Маликов, М.Ф.** Основы метрологии / М.Ф. Маликов. – М. : Комитет по делам мер и измерительных приборов, 1949. – 290 с.

14. **Марков, Н.С.** Основы теории обработки результатов измерений / Н.С. Марков. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 176 с.

15. **Миронов ,Э.Г.** Основы метрологии: учеб. пособие для вузов / Э.Г. Миронов. – Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2000. – 113 с.

16. **Сергеев, А.Г.** Метрология: учеб. пособие для вузов / А.Г. Сергеев, В.В. Крохин. – М. : Логос, 2000. – 408 с.

17. **Лифиц, И.М.** Основы стандартизации, метрологии и сертификации: учебник для вузов / И.М. Лифиц. – М. : Юрайт, 2001. – 286 с.

18. **Тартаковский, Д.Ф.** Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учебник для вузов / Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов. – М. : Высшая школа, 2001. – 205 с.

19. **Радкевич, Я.М.** Метрология, стандартизация и сертификация: учеб. пособие / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – М. : Высшая школа, 2004. – 767 с.

20. **Земельман, М.А.** Метрологические основы технических измерений / М.А. Земельман. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 288 с.

21. **Рабинович, С.Г.** Погрешности измерений / С.Г. Рабинович. – Л. : Энергия, 1978. – 262 с.

22. **Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники** / под ред. В.А. Кузнецова. – М. : Радио и связь, 1990. – 240 с.

23. **Багаев, Е.** Всякое дело мера красит / Е. Багаев // Наука и жизнь. 1998. № 2. С. 102–107.

24. **Власов, А.Д.** Единицы физических величин в науке и технике: справочник / А.Д. Власов, Б.П. Мурин. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 176 с.

25. **Деньгуб, В.М.** Единицы величин: словарь-справочник / В.М. Деньгуб, В.Г. Смирнов. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 240 с.

26. **Основные термины в области метрологии**: словарь-справочник / под ред. Ю.В. Тарбеева. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 113 с.

27. **Балакирев, В.С.** Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления / В.С. Балакирев, Е.Г. Дудников, А.М. Цирлин. – М. : Энергия, 1967. – 206 с.

28. **Вентцель, Е.С.** Теория вероятностей: учебник для вузов / Е.С. Венцель. – М. : Наука, 1969. – 576 с.

29. **Диткин, В.А.** Справочник по операционному исчислению / В.А. Диткин, А.П. Прудников. – М. : Высшая школа, 1995. – 260 с.

30. **Корн, Г.** Справочник по математике для научных работников и инженеров: пер. с англ. / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1970. – 720 с.

31. **Бронштейн, И.Н.** Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М. : Наука, 1964. – 608 с.

32. **Левшина, Е.С.** Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи / Е.С. Левшина, П.В. Новицкий. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.

33. **Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC**: пер. с англ. / под ред. У. Топкинса. – М. : Мир, 1992. – 592 с.

34. **Васин, Н.Н.** Устройства связи с объектом автоматизации на базе IBM PC / Н.Н. Васин. – Самара : СГАУ, 1994. – 56 с.

35. **Харт, Х.** Введение в измерительную технику: пер. с нем. / Х. Харт. – М. : Мир, 1999. – 391 с.

36. **Классен, К.Б.** Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике: пер. с англ. / К.Б. Классен. – М. : Постмаркет, 2000. – 352 с.

37. **Агейкин, Д.И.** Датчики контроля и регулирования / Д.И. Агейкин, Е.Н. Костина, Н.Н. Кузнецова. – М. : Машиностроение, 1965. – 928 с.

38. **Васин Н.Н.** Датчики автоматизированных величин: учеб. пособие / Н.Н. Васин. – Самара : РИП «Кредо», 1987. – 34 с.

39. **Миронов, Э.Г.** Погрешности и неопределенности измерений / Э.Г. Миронов, В.А. Фирсанов // Практика приборостроения, 2004. № 2. С. 79–84.

40. **Кузнецов, В.П.** Сопоставительный анализ погрешности и неопределенности измерений / В.П. Кузнецов // Измерительная техника. 2003. № 8. С. 21–27.

41. **Руководство по выражению неопределенности измерения**: пер. с англ / под ред. В.А. Слаева. – СПб. : ВНИИМ, 1999. – 20 с.

42. **РМГ 43–2001. ГСОЕИ.** Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений». Рекомендации межгосударственные. Введ. с 01.01.2003 впервые. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 38 с.

43. **Тарбеев, Ю.В.** Проблемы применения в России межгосударственного руководства по выражению неопределенности измерений / Ю.В. Тарбеев, А.В. Слаев, А.Г. Чуновкина // Измерительная техника. – 1997. №2. С. 69–72.

44. **ГОСТ 8.009–84.** ГСИ. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений. Общие требования. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 34 с.

45. **ГОСТ 8.401–80.** ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 10 с.

46. **ГОСТ 8.207–76. ГСИ.** Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов. Основные положения. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 9 с.

47. **ГОСТ 8.508–84. ГСИ.** Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации ГСП. Общие методы оценки и контроля. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 52 с.

48. **МИ 2083–90.** ГСИ. Измерения косвенные. Определения результатов из-мерений и оценивание их погрешностей. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 10 с.

49. **ГОСТ 8.417–2002.** ГСОЕИ. Единицы величин. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 28 с.

50. **ГОСТ Р 8.585–2001.** ГСОЕИ. Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования. – М. : Изд-во стандартов, 2002. – 36 с.

51. **ГОСТ 6651–84.** Термообразователи сопротивления ГСП. Общие технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 34 с.

52. **РД 50–453–84.** Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации. Методы расчета: методические указания. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 17 с.

53. **РМГ 29–99 ГСИ.** Метрология. Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 28 с.

54. **Р 50.2.038–2004.** Рекомендации по метрологии. ГСОЕИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений. – М. : Стандартинформ, 2005. – 7 с.

55. **Метрология и электроизмерения в телекоммуникационных системах:** учебник для вузов / под ред. В.И. Нефедова. – М. : Высшая школа, 2001. – 383 с.

56. **ГОСТ 1494–77.** Электротехника. Буквенные обозначения основных величин. Введен с 01.07.1978 взамен ГОСТ 1494–61. Переиздан с изменениями в марте 1983 г. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 36 с.

57. **Хоффман, Д.** Техника измерений и обеспечение качества: справочная книга / пер. с нем.; под ред. Л.М. Закса, С.С. Кивилиса. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 472 с.

58. **Мейдза, Ф.** Электронные измерительные приборы и методы измерения: пер. с англ. / Ф. Мейдза. – М. : Мир, 1990. – 535 с.

59. **Чистяков, В.С.** Краткий справочник по теплотехническим измерениям / В.С. Чистяков. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.

60. **Воробьев, С.А.** Электрические измерения неэлектрических величин. Вып. 2. Основы теории и расчета неуравновешенных мостовых схем с датчиками сопротивления / С.А. Воробьев. – Свердловск : УПИ им. С.М. Кирова, 1975. – 232 с.

61. **Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника**: учеб. пособие / под ред. К.К. Кима. – СПб. : Питер, 2006. – 386 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Статистические таблицы

Таблица П. 1.1

Интеграл вероятности $\Phi(T) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^T e^{-\frac{t^2}{2}} dt$

T	$\Phi(T)$	T	$\Phi(T)$	T	$\Phi(T)$	T	$\Phi(T)$
0,00	0,0000	0,75	0,5467	1,50	0,8664	2,25	0,9756
0,05	0,0399	0,80	0,5763	1,55	0,8789	2,30	0,9786
0,10	0,0797	0,85	0,6047	1,60	0,8904	2,35	0,9812
0,15	0,1192	0,90	0,6319	1,65	0,9011	2,40	0,9836
0,20	0,1585	0,95	0,6579	1,70	0,9109	2,45	0,9857
0,25	0,1974	1,00	0,6827	1,75	0,9199	2,50	0,9876
0,30	0,2358	1,05	0,7063	1,80	0,9281	2,60	0,9907
0,35	0,2737	1,10	0,7287	1,85	0,9357	2,70	0,9931
0,40	0,3108	1,15	0,7499	1,90	0,9426	2,80	0,9949
0,45	0,3473	1,20	0,7699	1,95	0,9488	2,90	0,9963
0,50	0,3829	1,25	0,7887	2,00	0,9545	3,00	0,99730
0,55	0,4177	1,30	0,8064	2,05	0,9596	3,81	0,99806
0,60	0,4515	1,35	0,8230	2,10	0,9643	3,20	0,99863
0,65	0,4843	1,40	0,8385	2,15	0,9684	3,50	0,99953
0,70	0,5161	1,45	0,8529	2,20	0,9722	4,00	0,99994

Таблица П. 1.2

Значение коэффициентов Стьюдента *t* в зависимости от доверительной вероятности *P* и числа измерений *n*

n	**Доверительная вероятность *P***					
	0,8	**0,9**	**0,95**	**0,98**	**0,99**	**0,999**
4	1,64	2,35	3,18	4,54	5,84	12,94
5	1,53	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
6	1,48	2,02	2,57	3,37	4,03	6,86
7	1,44	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96
8	1,42	1,90	2,37	3,00	3,50	5,41
9	1,40	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
10	1,38	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
11	1,37	1,81	2,23	2,76	3,17	4,59
12	1,36	1,80	2,20	2,72	3,11	4,44
13	1,36	1,78	2,18	2,68	3,06	4,32
14	1,35	1,77	2,16	2,65	3,01	4,22
15	1,35	1,76	2,15	2,62	2,98	4,14
16	1,34	1,75	2,13	2,60	2,95	4,07
17	1,34	1,75	2,12	2,58	2,92	4,02
18	1,33	1,74	2,11	2,57	2,90	3,97
19	1,33	1,73	2,10	2,55	2,88	3,92
20	1,33	1,73	2,09	2,54	2,86	3,88
21	1,33	1,73	2,09	2,53	2,85	3,85
22	1,32	1,72	2,08	2,52	2,83	3,82
23	1,32	1,72	2,07	2,51	2,82	3,79
24	1,32	1,71	2,07	2,50	2,81	3,77
25	1,32	1,71	2,06	2,49	2,80	3,75
26	1,32	1,71	2,06	2,49	2,79	3,73
27	1,32	1,71	2,06	2,48	2,78	3,71
28	1,31	1,70	2,05	2,47	2,77	3,69
29	1,31	1,70	2,05	2.47	2,76	3,67
30	1,31	1,70	2,05	2,46	2,76	3,66
31	1,31	1,70	2,04	2,46	2,75	3,65
40	1,30	1,68	2,02	2,42	2,70	3,55
60	1,30	1,67	2,00	2,39	2,66	3,46
120	1,29	1,66	1,98	2,36	2,62	3,37
∞	1,28	1,65	1,96	2,33	2,58	3,29

Таблица П. 1.3

Значение коэффициентов γ_1 и γ_2в зависимости от доверительной вероятности *P* и числа измерений *n*

n	Доверительная вероятность *P*							
	0,99		0,98		0,95		0,90	
	γ_1	γ_2	γ_1	γ_2	γ_1	γ_2	γ_1	γ_2
4	0,48	6,47	0,51	5,11	0,57	3,73	0,62	2,92
5	0,52	4,39	0,55	3,67	0,60	2,87	0,65	2,37
6	0,55	3,48	0,58	3,00	0,62	2,45	0,67	2,09
7	0,57	2,98	0,60	2,62	0,64	2,20	0,69	1,92
8	0,59	2,66	0,62	2,38	0,66	2,04	0,71	1,80
9	0,60	2,44	0,63	2,21	0,68	1,92	0,72	1,71
10	0,62	2,28	0,64	2,08	0,69	1,83	0,73	1,65
11	0,63	2,15	0,66	1,98	0,70	1,76	0,74	1,59
12	0,64	2,06	0,67	1,90	0,71	1,70	0,75	1,55
13	0,65	1,98	0,68	1,83	0,72	1,65	0,76	1,52
14	0,66	1,91	0,69	1,78	0,73	1,61	0,76	1,49
15	0,67	1,85	0,69	1,73	0,73	1,58	0,77	1,46
16	0,68	1,81	0,70	1,69	0,74	1,55	0,78	1,44
17	0,68	1,76	0,71	1,66	0,75	1,52	0,78	1,42
18	0.69	1,73	0,71	1,63	0,75	1,50	0,79	1,40
19	0,70	1,69	0,72	1,60	0,76	1,48	0,79	1,39
20	0,70	1,67	0,72	1,58	0,76	1,46	0,79	1,37
21	0,71	1,64	0,73	1,56	0,77	1,44	0,80	1,36
22	0,71	1,62	0,73	1,54	0,77	1,43	0,80	1,35
23	0,72	1,59	0,74	1,52	0,77	1,42	0,81	1,34
24	0,72	1,58	0,74	1,50	0,78	1,40	0,81	1,33
25	0,73	1.56	0,75	1,49	0,78	1,39	0,81	1,32
26	0,73	1,54	0,75	1,47	0,78	1,38	0,82	1,31
27	0,73	1,53	0,76	1,46	0,79	1,37	0,82	1,30
28	0,74	1,51	0,76	1,45	0,79	1,36	0,82	1,29
29	0,74	1,50	0,76	1,44	0,79	1,35	0,82	1,29
30	0,74	1,49	0,77	1,43	0,80	1,34	0,83	1,28
31	0,75	1,48	0,77	1,42	0,80	1,34	0,83	1,27
40	0,77	1,39	0,79	1,34	0,82	1,28	0,85	1,23
50	0,79	1,34	0,81	1,30	0,84	1,24	0,86	1,19
60	0,81	1,30	0,82	1,27	0,85	1,22	0,87	1,18
70	0,82	1,27	0,84	1,24	0,86	1,20	0,88	1,16
80	0,83	1,25	0,84	1,22	0,87	1,18	0,89	1,15
90	0,84	1,23	0,85	1,21	0,87	1,17	0,89	1,14
100	0,85	1,22	0,86	1,20	0,88	1,16	0,90	1,13
200	0,89	1,15	0,90	1,13	0,91	1,11	0,93	1,09

Таблица П. 1.4

Значения коэффициентов W_T в зависимости от числа измерений *n* и доверительной вероятности *P* (табличный метод выявления промахов)

n	Доверительная вероятность *P*			
	0,90	**0,95**	**0,975**	**0,99**
4	1,65	1,69	1,71	1,72
5	1,79	1,87	1,92	1,96
6	1,89	2,00	2,07	2,13
7	1,97	2,09	2,18	2,27
8	2,04	2,17	2,27	2,37
9	2,10	2,24	2,35	2,46
10	2,15	2,29	2,41	2,54
12	2,23	2,39	2,52	2,66
14	2,30	2,46	2,60	2,76
16	2,35	2,52	2,67	2,84
18	2,40	2,58	2,73	2,90
20	2,45	2,62	2,78	2,96
22	2,49	2,66	2,82	3,01
24	2,52	2,70	2,86	3,05
50	–	–	–	3,35
75	–	–	–	3,52
100	–	–	–	3,60

Таблица П. 1.5

Значение квантилей нормального распределения *K* в зависимости от доверительной вероятности *P*

P	**K**	**P**	**K**	**P**	**K**	**P**	**K**
0,68	1,00	0,85	1,44	0,91	1,69	0,97	2,16
0,80	1,28	0,86	1,47	0,92	1,75	0,98	2,32
0,81	1,31	0,87	1,51	0,93	1,81	0,99	2,58
0,82	1,34	0,88	1,55	0,94	1,88	0,997	3,00
0,83	1,37	0,891	1,60	0,95	1,96	0,999	3,29
0,84	1,40	0,90	1,64	0,96	2,05	–	–

Таблица П. 1.6

Необходимое число измерений для получения отношения $\frac{\Delta\overline{x}}{\sigma}$

с доверительной вероятностью *P*

$\frac{\Delta\overline{x}}{\sigma}$	**Доверительная вероятность *P***					
	0,5	**0,7**	**0,9**	**0,95**	**0,99**	**0,999**
1,0	2	3	5	7	11	17
0,50	3	6	13	18	31	50
0,40	4	8	19	27	46	74
0,30	6	13	32	46	78	127
0,20	13	29	70	99	171	277
0,10	47	169	273	387	668	1089
0,05	183	431	1084	1540	2659	4338
0,01	4543	10732	27161	38416	66358	108307

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Критерий согласия по ГОСТ 8.508 – 84

П. 2.1. Общие положения

При обработке результатов измерений существенное значение имеет вопрос о том, подчиняется или нет результат нормальному закону распределения. Эта задача решается с помощью критериев согласия. Известно несколько критериев согласия: χ^2 (критерий Пирсона) [12; 14; 21], критерий Романовского, критерий А.Н. Колмогорова, составной критерий [21; 46], критерий на основе коэффициентов асимметрии и эксцесса [47] и др.

Критерий Пирсона применяется при большом числе измерений (n>50); при числе измерений от 16 до 50 может быть использован составной критерий, а при числе измерений от 10 до 200 используется критерий на основе коэффициентов асимметрии и эксцесса. Именно последний из указанных критериев, как пригодный при малом числе измерений и практически удобный, описывается в данном параграфе учебного пособия [47].

П. 2.2. Проверка нормальности распределения результатов измерений по значению коэффициентов асимметрии и эксцесса

П. 2.2.1. Коэффициент асимметрии оценивается по формуле

$$\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\sigma^3(x)}, \qquad (П.2.1)$$

где

$$\mu_3 = \frac{1}{n}\sum_{i-1}^{n}(x_i - \overline{x})^3, \qquad (П.2.2)$$

$$\sigma^3(x) = \left[\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2\right]^{\frac{3}{2}}, \qquad (П.2.3)$$

x_i – результат i-го измерения;

$\overline{x}$ – среднее арифметическое значение результатов измерений;

n – число измерений.

П.2.2.2. Точность оценки коэффициента асимметрии определяют из выражения

$$\sigma_{\gamma 1} = \sqrt{\frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}} \qquad (П.2.4)$$

или находят из табл. П.2.1.

Таблица П.2.1

n	10	20	30	40	50	60	100	200
$\sigma_{\gamma 1}$	0,62	0,49	0,42	0,37	0,33	0,30	0,24	0,17

П.2.2.3. Распределение результатов измерений в первом приближении подчиняется нормальному распределению, если выполняется первое условие:

$$\gamma_1 < 3\sigma_{\gamma 1}. \qquad (П.2.5)$$

П.2.2.4. Распределение результатов измерений не подчиняется нормальному распределению, если условие (П2.5) не выполняется, т. е.

$$\gamma_1 \geq 3\sigma_{\gamma 1}\ . \qquad (П.2.6)$$

П.2.2.5. Коэффициент эксцесса оценивается по формуле

$$\gamma_2 = \frac{\mu_4}{\sigma^4(x)} - 3, \qquad (П.2.7)$$

где μ_4 – четвертый центральный момент, определяемый по формулам

$$\mu_4 = \frac{n(n^4 - 2n + 3)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \cdot m_4 - \frac{3n(2n-3)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \cdot m_2^2, \qquad (П.2.8)$$

$$m_4 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^4, \qquad (П.2.9)$$

$$m_2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2, \qquad (П.2.10)$$

$$\sigma^4(x) = \left[\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2\right]^2. \qquad (П.2.11)$$

П.2.2.6. Точность оценки коэффициента эксцесса определяют из выражения

$$\sigma_{\gamma 2} = \sqrt{\frac{24n(n-2)(n-3)}{(n-1)^2 \cdot (n+3)(n+5)}} \qquad \text{(П.2.12)}$$

или находят из табл. П.2.2.

Таблица П.2.2

n	10	30	60	100	200
$\sigma_{\gamma 2}$	0,92	0,75	0,63	0,48	0,34

П.2.2.7. Распределение предварительно считается нормальным, если выполняется второе условие:

$$\gamma_2 < 3\sigma_{\gamma 2}\,. \qquad \text{(П.2.13)}$$

П.2.2.8. Распределение считается отличным от нормального, если условие (П.2.12) не выполняется, т. е.

$$\gamma_2 \geq 3\sigma_{\gamma 2}\,. \qquad \text{(П.2.14)}$$

П.2.2.9. Распределение считается нормальным, если выполняются одновременно оба условия: ((П.2.5) и (П.2.13)), и распределение считается отличным от нормального, если не выполняется хотя бы одно из условий (или (П.2.5), или (П.2.13)).

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Характеристики датчиков

Таблица П.3.1

Реостатные датчики угла поворота [37]

Технические данные	Тип датчика			
	МУ-62	**МУ-63**	**МУ-65**	**МУ-66**
Диапазон изменения рабочего угла поворота, град	±10; ±15	±12	±12	±12
Полный угол поворота ползунка, град	60	±35	±64	±32
Сопротивление реостата, Ом	250	—	1200	1200
Габаритные размеры, мм	33×77×53	33×77×53	45×35×31	45×35×31
Вес, г	450	450	50	50
Основная погрешность, град	±0,3; ±0,9	±0,15	±0,7	±0,7
Статическая характеристика преобразования	Линейная	Линейная	Линейная	Линейная

Таблица П.3.2

Датчики контактного сопротивления с угольными дисками [37]

Технические данные	**Тип датчика**	
	УММ-1	**УММ-3**
Верхний предел диапазона измерения сил, т	0,2; 0,3; 0,6; 1,0	2; 3; 5; 10; 20; 50
Нижний предел диапазона измерения сил, % от верхнего	15	15
Собственная частота датчика, Гц	10 000	10 000
Рабочий диапазон изменения сопротивления столбика, %	30	30
Величина предварительного сжатия столбика, кГс	15–20	15–20
Число дисков n, диаметр d и толщина S дисков, мм	$n = 7$; $d = 8$; $S = 1$	$n = 7$; $d = 8$; $S = 1$
Допустимая нагрузка, % от номинальной	200	100
Допустимая температура датчика, ^{0}C	+120	+120
Основная погрешность, %	±7	±10

Таблица П.3.3

Тензометрические датчики деформаций [38]

Тип тензорезистора	**Вид измерений**	**Предел измерения деформации, %**	**Диапазон рабочих температур, ^{0}C**	**Коэффициент тензочувствительности**	**Срок службы, лет**
ЛХ-364		±0,3	–253…+50	3,9–4,5	12
ЛХ-352	Статодинамический	±1,0	–196…+50	1,8–2,2	8
ВТ-356		±3,5	±50	1,8–2,2	7
ВТ-358		±1,0	–253…+50	1,8–2,2	12
ЕТ-286		±0,3	+3…+290	1,8–2,2	12

Таблица П.3.4

Терморезисторные датчики
(термопреобразователи сопротивления, ТС) [59]

Тип датчика	Пределы измерения, ^{0}C	Номинальная статическая характерис-тика преобразо-вания	Условное давление среды, МПа	Показатель тепловой инерции, с, не более	Материал защитной арматуры	Примечание
ТСП-0281	–50…+120	50П	0,4	10	Медь М1	Для измерения температуры твердых тел. Герметичный
ТСП-365-01	–2…+32	Индивидуальная	60	0,5	12Х18Н10Т	Для измерения температуры морской воды
ТСП-5081-01	–50…+200	100П	32	9	08Х13	Для измерения температуры агрессивных сред
ТСМ-275-01	–50…+150	100М	6,4	60	08Х13	Для измерения температуры природного газа
ТСМ-0979	–40…+120	50М	–	9	Латунь Л63 или Л96	Для измерения температуры малогабаритных подшипников

Продолжение таблицы П.3.4

ТСМ-0879	+50…+200	50М	–	40	Х23Ю5	Для измерения температуры жидких и газообразных сред
ТСМ-8052	+200…+600	100П	0,16	10	08Х18Н10Т	Для измерения температуры в испытательных камерах

Таблица П.3.5

Индуктивные датчики давления [38]

Тип датчика	**Предел измерения, 10^5 Па**	**Допустимое рабочее давление, 10^5 Па**	**Основная погрешность, %**	**Температурный диапазон, ^{0}С**	**Выходной сигнал, В**
ДРИ-088	1,25 2,5 5,0 10,0	60	0,5 … 1,0	± 50	0 … 6,0
С-041	0,3 0,6 1,25 2,5 5,0	10	0,5 … 1,5	± 100	0 … 6,0
ДРИ-086	1,25	10	2,0	–	0 … 6,0
С-050	1,25	30	3,0	0 … +35	0 … 6,0

Таблица П.3.6

Емкостные датчики индикаторов уровня типа ЭИУ-2 [59]

Конструкция емкостного датчика	**Верхние пределы измерения, м**	**Покрытие электродов датчика**	**Характеристики измеряемой среды**			
			Давление, МПа	**Температура, ^{0}C**	**Физическое состояние**	**Электрическая проводимость**
Стержневая	1; 1,6; 2; 2,5	Резина	2,5	0 … +50	Жидкость	Электропроводная
Пластинчатая	1; 1,6; 2,5	Фторопласт	2,5	–40…+200	Жидкость	Электропроводная
Кабельная	3; 4; 6; 10	Полиэтилен	1,0	–40…+80	Жидкость	Электропроводная
Тросовая	4; 6; 10; 16; 20	Без покрытия	2,5	–40…+200	Жидкость или сыпучий материал	Неэлектропроводная ($\varepsilon \le 5$)

Таблица П.3.7

Термоэлектрические датчики (термопары (ТП)) [59]

Тип термопреобразователя	**Номинальная статическая характеристика преобразования**	**Диапазон измеряемых температур, ^{0}C**	**Показатель тепловой инерции, с**	**Длина погружаемой части, м**	**Материал защитной арматуры**	**Примечание**
ТВР-0877	ВР (А) – 1	300–1800	10	от 0,16 до 0,5	Молибден	Для измерения температуры в водородных электропечах
ТПР-0573	ПР (В)	300–1500	60	от 1,25 до 2,5	Карбид кремния	Для измерения температуры горячего дутья доменных печей
ТПП-0679	ПП (S)	0–1300	90	от 0,32 до 2	Корунд или Al_2O_3 +1 % TiO_2	Для измерения температуры в окислительных и нейтральных средах
ТХК-0279	ХК (L)	–50…+600	180	от 0,16 до 3,15	08Х13 12Х18Н10Т	Для измерения температуры газообразных и жидких сред, не разрушающих защитную арматуру

Продолжение таблицы П.3.7

ТХА-410	ХА (К)	0–800	60	от 0,08 до 0,16	10Х17Н13М	Для измерения температуры выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания
ТХКП-18	ХК (L)	0–400	40	2,0	08Х13	Для измерения температуры поверхностей твердых тел в промышленных условиях

Таблица П.3.8

Трансформаторные датчики линейных перемещений [38]

Параметр	**Типы датчиков**			
	ПДИ-045	**ПДИ-052**	**ПЛИ-057**	**ПЛИ-079**
Диапазон измерений, мм	0,1–2,8	0–2,8 0–4,0	0–60 0–90 0–300	0–1,4 0–2,8 0–5,6 0–8,0
Частотный диапазон измерений, Гц	0–500	0–750	0–20	0–30
Основная погрешность, %	2,0	1,5	2,0	1,0
Габаритные размеры, мм	∅ 20×20	∅ 12×77 ∅ 20×80	∅ 25×170 ∅ 25×200 ∅ 25×465	∅ 10×38 ∅ 10×55
Диапазон рабочих температур, ^{0}C	от –100 до +50	от –196 до +50	от –60 до +345	от –50 до +50
Срок службы, лет	12	12	12	11

Таблица П.3.9

Индукционные датчики частоты вращения [38]

Параметр	**Типы датчиков**			
	ВТ-1850	**ВТ-1855**	**ОГ-018**	**ОЭ-019**
Диапазон измерения, об./мин	3000–65000	60–40000	860–49000	60–120000
Частотный диапазон измерений, Гц	100–13000	8–8000	113–6530	1–2000
Минимальный выходной сигнал, мВ	100	100	150	1000
Рабочий зазор, мм	3	3	1,5	1–15
Напряжение питания, В	–	27	–	27
Ток потребления, мА	–	3	–	50
Диапазон рабочих температур, ^{0}C	–60…+100	–212…+50	–253…+100	–5…+35

Фотоэлектрический датчик частоты вращения [37]

Действие датчика основано на преобразовании момента вращения в изменение освещенности фотоэлементов. Момент вращения воспринимается упругим валом, по концам которого расположены растровые диски с радиальными прорезями. При закручивании вала изменяется площадь взаимного перекрытия прорезей дисков и освещенность фотоэлементов.

Таблица П.3.10

Технические данные

Диапазон изменения момента вращения, кГс.м	6–280
Диапазон изменения фототока, мА	0–2,0
Максимальный угол закручивания измерительного вала, мин	45
База измерения, мм	180–400
Допустимая частота, Гц	
для селеновых фотоэлементов	5
для сернистосвинцовых фотоэлементов	250
Количество фотоэлементов, шт.	8
Основная погрешность, %	3–4

Магнитоупругий датчик момента вращения [37]

Действие датчика основано на изменении магнитных свойств материала вала в зависимости от приложенного вращающего момента. Изменения магнитных свойств закрученного вала приводят к нарушению симметрии распределения магнитного поля, что наводит в измерительной обмотке напряжение, пропорциональное измеряемому моменту.

Таблица П.3.11

Технические данные

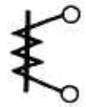
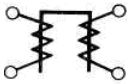
Диапазон изменения момента вращения, кГс · м	0–30
Намагничивающий 1 ток, мА	750
Скорость вращения вала, об./мин	300
Воздушный зазор между измерительным сердечником и валом, мм	2,5
Число витков обмотки возбуждения	2×110
Число витков измерительной обмотки	2×5100

Датчик работает в комплекте с измерительной схемой и предназначен для измерения вращающего момента электродвигателей.

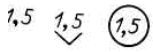
ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Условные обозначения на шкалах и корпусах приборов

Условные обозначения на шкалах приборов

Тип системы	Условные обозначения
Прибор магнитоэлектрический с подвижной рамкой	
Логометр магнитоэлектрический	
Прибор электромагнитный	
Логометр электромагнитный	
Прибор электродинамический	
Прибор ферродинамический	
Логометр ферродинамический	
Прибор индукционный	
Прибор электростатический	
Прибор магнитоэлектрический с выпрямителем (выпрямительный прибор)	
Прибор магнитоэлектрический с электронным преобразователем в измерительной цепи (электронный прибор)	

Продолжение таблицы

Прибор магнитоэлектрический с неизолированным термопреобразователем (термоэлектрический прибор)		
Ток постоянный		—
Ток переменный (однофазный)		~
Ток постоянный и переменный		≂
Ток трехфазный переменный (общее обозначение)		≋
Прибор применять при вертикальном положении шкалы		⊥
Прибор применять при горизонтальном положении шкалы		⌐¬
Класс точности прибора		
Напряжение испытательное, например 2 кВ		
Условия эксплуатации	Лабораторные условия (от +10 до +35 ^{0}C)	**А**
	Неотапливаемое помещение (от –30 до +50 ^{0}C)	**Б**
	Полевые и морские условия (от –40 до +50 ^{0}C)	$\mathbf{В_1}$
	Полевые и морские условия (от –50 до +60 ^{0}C)	$\mathbf{В_2}$
Внимание! Смотри дополнительные указания в паспорте и инструкции по эксплуатации		

Обозначения на корпусах электроизмерительных приборов

Наименование	**Условное обозначение**
Отрицательный зажим	
Положительный зажим	
Общий зажим (для многопредельных приборов переменного тока и комбинированных приборов)	
Зажим переменного тока (в комбинированных приборах)	
Зажим, соединенный с корпусом	
Зажим (винт, шпилька) для заземления	
Корректор	

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Характеристики электроизмерительных приборов

Таблица П.5.1

Основные технические характеристики универсальных вольтметров

№ п/п	Тип, наимено-	Измеряемая величина	Диапазон измерений	Основная погрешность	Автоматизация
1	2	3	4	5	6
1	В7-34, В7-34/1, В7-34/А Вольтметр универсальный цифровой системный	$U_{=}$ $U_{\sim}$ $R_{=}$ Отношение $U_{1=}/U_{2=}$ Отношение $U_{\sim}/U_{=}$ Измерение в режиме выборка / запоминание	(10^{-6}–1000) В (10^{-5}–500) В (20 Гц–500 кГц) (10^{-3}–10^{7}) Ом (10^{-6}–10) В (10^{-6}–10) В (10^{-6}–500) В (10^{-6}–10) В (10^{-4}–1000) В	$\pm\left[0{,}015+0{,}002\left(\frac{U_K}{U}-1\right)\right]\%$ $\pm\left[0{,}15+0{,}05\left(\frac{U_K}{U}-1\right)\right]\%$ $\pm\left[0{,}02+0{,}002\left(\frac{U_K}{U}-1\right)\right]\%$ $\pm\left(A+B\frac{U_{K1}}{U_1}+C\frac{S_X U_{K2}}{U_2}\right)\%$ $\pm$Д$_{\sim}$ $\pm\left[0{,}04\pm0{,}02\left(\frac{U_K}{U}-1\right)\right]\%$	В7-34 и В7-34/1 имеют выход на КОП. Самопроверка работы основных узлов (семь тестов с индикацией результатов). Автоматическая установка нуля. АВП измерения $U_{=}$, $U_{\sim}$, $R_{=}$; автоматически определяется индикация полярности
2	В7-40, В7-40/1 Вольтметр универсальный цифровой	$U_{=}$ $I_{=}$ $U_{\sim}$ $I_{\sim}$	(10^{-5}–1000) В; 30 кВ с делителем (10^{-8}–2) А; 10 А с шунтом (2×10^{-3}–1000) В 20 Гц–100 кГц (2×10^{6}–2×10^{1}) А с шунтом до 2 А	$\pm\left[0{,}05+0{,}02\left(\frac{U_K}{U}-1\right)\right]\%$ $\pm\left[0{,}02+0{,}2\left(\frac{I_K}{I}-1\right)\right]\%$ $\pm\left[0{,}6+0{,}1\left(\frac{U_K}{U}-1\right)\right]\%$ $\pm\left[1{,}0+0{,}1\left(\frac{I_K}{I}-1\right)\right]\%$ $\pm\left[0{,}15+0{,}05\left(\frac{R_K}{R}-1\right)\right]\%$ $\pm\left[0{,}5+0{,}1\left(\frac{R_K}{R}-1\right)\right]\%$	Выход на КОП. Ручной и автоматический выбор пределов измерений. Автоматическая установка нуля. Автоматическое определение и индексация полярности

Продолжение таблицы П.5.1

	В7-41 Вольтметр универ-сальный цифровой малогаба-ритный	$U_{=}$	(10^{-4}–1000) В	$\pm\left[0{,}2+0{,}1\left(\frac{U_K}{U}-1\right)\right]\%$	
		$I_{=}$	(10^{-7}–10) А	$\pm\left[0{,}4+0{,}1\left(\frac{I_K}{I}-1\right)\right]\%$	
		$U_{\sim}$	(10^{-4}–750) В 20 Гц–100 кГц	$\pm\left[0{,}8+0{,}2\left(\frac{U_K}{U}-1\right)\right]\%$ 40 Гц–5 кГц	
		$I_{\sim}$	(10^{-7}–10) А 20 Гц–10 кГЦ	$\pm\left[1{,}2+0{,}2\left(\frac{I_K}{I}-1\right)\right]\%$ в диапазоне частот 40Гц-5кГЦ	
		$R_{=}$	(0,1–2×10^{7}) Ом	$\pm\left[0{,}2+0{,}1\left(\frac{R_K}{R}-1\right)\right]\%$	

Примечание. В таблице приведен наилучший для данного типа прибора предел основной погрешности измерений.

U_K, I_K, R_K – наибольшее значение поддиапазона измерения;

U, I, R – показания прибора;

U_1 – напряжение на входе прибора 1;

U_{K1}, U_{K2} – значение поддиапазонов измерений по входам 1 и 2;

A, B, C – постоянные коэффициенты (для В7-34 A = 0,01; B = 0,005 или 0,002; C = 0,002);

д – предел допускаемой основной погрешности при измерении переменного напряжения.

Для прибора В7-41 предусмотрено питание от батареи типа «Крона ВЦ» или «Корунд» либо от сети 220 В, 50 Гц; масса прибора В7-41 составляет 0,5 кг.

Таблица П.5.2

Основные технические характеристики вольтметров переменного напряжения

№ п/п	Тип прибора, наименование	Диапазон измерений	Основная погрешность	Диапазон частот	Примечание
1	В3-59 Милливольт-метр цифровой широкополос-ный	(265×10^{-4}–300) В Поддиапазоны: 1, 3, 10, 30, 100, 300 мВ; 1, 3, 10, 30, 100, 300 В; с делителем до 1 кВ	±(0,4–10)%U_K	10 Гц – 100 МГц	Измеряет среднеквадратическое значение напряжения произвольной формы
2	ВКЗ-61 Вольтметр цифровой широкополосный	$U_=$ (10^{-2}–1000) В Поддиапазоны: 100 мВ, 1, 10, 100, 1000 В	+[0,4+0,2(U_K/U–1)]%	–	Выход на КОП. Ручной и автоматический выбор пределов измерения
		$U_\sim$ (1,7×10^{-3}–1000) В Поддиапазоны: 100 мВ, 1, 10, 100, 1000 В	±[0,6+0,4(U_K/U–1)]% на поддиапазоне 100 мВ при f = 60 Гц–100 кГц	10 Гц – 100 МГц	Измеряет напряжение произвольной формы с $K_A \leq 7U_K/U$. Индикация результатов измерения на цифровом табло 3; 3,5; 4 или 4,5
		Суммы $U_=+U_\sim$ (17×10^{-3}–1000) В Поддиапазоны 10 мВ, 1, 10, 100, 1000 В	–	2 Гц – 100 МГц	

Таблица П.5.3

Основные технические характеристики приборов для измерения параметров электрических цепей

№ п/п	Тип прибора	Рабочая частота, Гц	Измеряемая величина	Диапазон измерений	Погрешность измерений	Габариты, мм Масса, кг
1	Е6-18	78	R	$(10^{-4}–10^{2})$ Ом	±1,5% от $R_к$	243×206×208; 5
2	Е6-16	Постоянный ток	R	$(2–2×10^{8})$ Ом	±1,5 % длины рабочей части шкалы	120×205×90; 1,9
3	Е7-9	$7×10^{5}–3×10^{5}$	C	$(1–5×10^{3})$ пФ	± (0,05×C+0,1) пФ от 1 до 2,5 пФ; ±(0,05×C+0,05) пФ от 2,5 до 10 пФ	385х185х335; 9
		$11×10^{3}–1,55×10^{6}$	H	$(10^{-7}–10^{1})$ Гн	±(0,015 h+2 к) мкГн от 1 до 10 мкГн; ±(0,012h+1,2$к$) мкГн от 10 мкГн и более, где K = 0,01; 0,1; 1; 10; 100 для соответствующего диапазона	
4	Е8-4	10^{3}	C	$(3×10^{-2}–15,99×10^{6})$ пФ	±(0,001 C+0,02) пФ	490×210×475; 26
			tg δ	$5×10^{-4}–999×10^{-4}$	±(0,02tgд+$5×10^{-4}$)	

Продолжение таблицы П.5.3.

5	Е7-11	Постоянный ток	R	$(10^1–10)$ Ом	$\pm(0{,}02R+0{,}05)$ Ом	342×173×332; 9
		10^2; 10^3	R	$(10–10^6)$ Ом	$\pm(0{,}01R+0{,}05)$ Ом	
				$(10^6–10^7)$ Ом	$\pm(0{,}02R)$ Ом	
		10^2; 10^3	С при $\operatorname{tg}\delta \le 1$	$(0{,}5–10^7)$ пФ	$\pm(0{,}01C+0{,}2)$ пФ	
				$(10^7–10^{10})$ пФ	$\pm 0{,}02C$ пФ	
			при $\operatorname{tg}\delta > 1$	$(0{,}5–10^7)$ пФ	±[0,01С(1+tgд)+0,2]пФ	
				$(10^7–10^{10})$ пФ	±0,01С(2+tgд)пФ	
		10^2; 10^3	L при $Q \ge 1$	$(3\text{x}10^{-7}\text{-}10^{-4})$Гн	±(0,02L+0,1) мкГн	
				$(10^{-4}\text{-}10)$Гн	$\pm 0{,}01L$	
				$(10\text{-}10^3)$Гн	$\pm 0{,}02L$	
			L при $Q<1H$			
				$(3\times10^{-7}–10^{-4})$Гн	±[0,01(2+1/Q)L+0,1] мкГн	
				$(10^{-4}–10)$ Гн	$\pm 0{,}01(1+1/Q)L$ мкГн	
		10^2; 10^3		$(10–10^3)$ Гн	$\pm 0{,}01(2+1/Q)L$ мкГн	
				$10^{-1}–30$	$\pm(10+0{,}5Q)\%$	
				$5\times10^{-3}–10^{-1}$	$\pm(0{,}1\times1/Q+5\times10^{-3})\%$	

Таблица П.5.4

Основные технические характеристики измерителей разности фаз

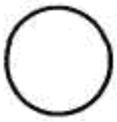
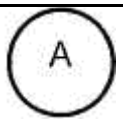
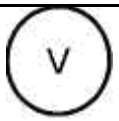
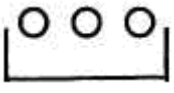
Параметр	**Значение параметра приборов**		
	Ф2-16	**ФК2-12**	**ФК2-29**
Диапазон частот	20 Гц – 20 Мгц	(1–1000) МГц	(1–1000) МГц
Предел измерения, град	0–360	0±180	0±180
Погрешность измерения, град	±(0,2–0,004)	±2,5	±0,5
Входное напряжение	(0,001–100) В	15 мВ – 1 В	$(3\times10^{-5}–1)$ В
Входное сопротивление	1 МОм	80 кОм	–
Входная емкость	30 пФ	3,5 пФ	–
Габаритные размеры, мм	490×175×475	490×175×475	488×475×173
Масса, кг	15	17,5	20

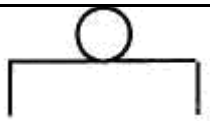
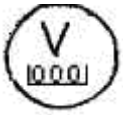
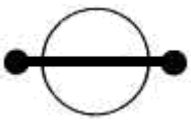
Прибор типа Ф2-16 предназначен для измерения разности фаз между двумя непрерывными синусоидальными сигналами одной частоты.

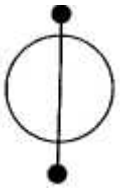
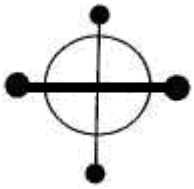
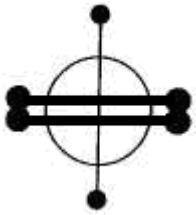
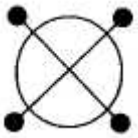
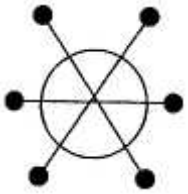
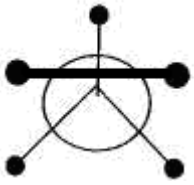
Приборы типа ФК-12 и ФК2-29 являются комбинированными приборами и предназначены для измерения не только разности фаз, но и отношения уровней входных синусоидальных сигналов, а также комплексных коэффициентов передачи четырехполюсников, параметров транзисторов и кварцевых фильтров.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Условные графические обозначения в схемах

Наименование	Обозначение
1. Прибор показывающий	
Например:	
а) амперметр показывающий	
б) вольтметр показывающий	
2. Прибор регистрирующий	
Например:	
а) амперметр регистрирующий	
б) вольтметр регистрирующий	
3. Если необходимо указать характеристику отсчетного устройства прибора, то в его обозначения вписывают следующие квалификационные символы:	
3.1. Прибор, подвижная часть которого может отклоняться в одну сторону от нулевой отметки:	
•вправо	
•влево	
3.2. Прибор, подвижная часть которого может отклоняться в обе стороны от нулевой отметки	
3.3. Допускается применять обозначение	
3.4. Прибор с цифровым отсчетом	

3.5. Прибор с непрерывной регистрацией (записывающий)	
3.6. Прибор с точечной регистрацией (записывающий)	
3.7. Прибор печатающий с цифровой регистрацией	
3.8. Амперметр, подвижная часть которого отклоняется в обе стороны от нулевой отметки	
3.9. Гальванометр	
3.10. Вольтметр с цифровым отсчетом	
3.11. Вольтметр с непрерывной регистрацией	
3.12. Вольтметр с цифровой регистрацией	
4. Обмотки в схемах измерительных приборов, отражающих их взаимное расположение в измерительном механизме, изображают следующим образом:	
4.1. Обмотка токовая	
4.2. Обмотка напряжения	
4.3. Обмотки токовые для сложения или вычитания	
4.4. Обмотки напряжения для сложения или вычитания	
Например, механизм измерительный:	
а) амперметра однообмоточного	

<table>
<tr>
<td>Продолжение Приложения 6
б) вольтметра однообмоточного</td>
<td>  </td>
</tr>
<tr>
<td>в) ваттметра однофазного</td>
<td>  </td>
</tr>
<tr>
<td>г) ваттметра трехфазного одноэлементного с двумя токовыми обмотками</td>
<td>  </td>
</tr>
<tr>
<td>д) логометра магнитоэлектрического (например, омметра-логометра)</td>
<td>  </td>
</tr>
<tr>
<td>е) логометра электродинамического (например, фазометра однофазного)</td>
<td>  </td>
</tr>
<tr>
<td>ж) логометра четырехобмоточного (например, фазометра трехфазного с одной токовой обмоткой)</td>
<td>  </td>
</tr>
<tr>
<td>5. Выводные контакты обмоток допускается не изображать, если это не приведет к недоразумению и не затруднит чтение схемы (например, допускается обозначение фазометра трехфазного с одной токовой обмоткой)</td>
<td>  </td>
</tr>
</table>

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Обозначение единиц измерения, их кратных и дольных значений

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Килоампер	kA	Киловольт	kV
Ампер	A	Вольт	V
Миллиампер	mA	Милливольт	mV
Микроампер	μA	Микровольт	μV
Наноампер	nA	Нановольт	nV
Мегаватт	MW	Мегаом	MΩ
Киловатт	kW	Килоом	kΩ
Ватт	W	Ом	Ω
Мегавар	Mvar	Миллиом	mΩ
Киловар	kvar	Микроом	μΩ
Мегагерц	MHz	Милливебер	mWb
Килогерц	kHz	Микрофарада	μF
Герц	Hz	Пикофарада	pF
Градусы угла сдвига фаз	φ	Генри	H
Коэффициент мощности	cosφ	Миллигенри	mH
Коэффициент реактивной мощности	sinφ	Микрогенри	μH
Тераом	TΩ	Наногенри	nH
Гигаом	GΩ	Градус стоградусной температурной шкалы	^{0}C

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Классификация электронных электроизмерительных приборов и система их обозначения

Электронные средства измерений подразделяют по характеру измерений и виду измеряемых величин на подгруппы, обозначаемые прописными буквами русского алфавита. Например, «В» – приборы для измерения напряжения.

Приборы, входящие в подгруппу, делятся на виды соответственно основной выполняемой функции. Видам присваивается буквенно-цифровое обозначение, состоящее из буквы подгруппы и номера вида. Например, «В2» – приборы для измерения постоянного напряжения.

По совокупности технических характеристик и очередности разработок приборы каждого вида разделяют на типы, которым соответствует порядковый номер модели (например, «В2-38»).

Наименование прибора определяется видом, к которому он относится.

Прописная буква русского алфавита, стоящая после модели, указывает на то, что прибор модернизирован (например, «В2-38А»). При этом буква «А» означает первую модернизацию, буква «Б» – вторую и т. д.

При конструктивной модификации приборов этот факт отмечается цифрой, которая ставится через дробь после номера модели. При этом цифра «1» означает первую конструктивную модификацию, цифра «2» – вторую, цифра «3» – третью и т. д. Например, «В2-38А/1».

Добавление к буквенному обозначению вида буквы «К» обозначает, что данный прибор многофункциональный (комбинированный). Например, «ВК 3-61Б/1» – вольтметр («В») комбинированный («К») для измерения переменного напряжения («3»), модель «61», вторая модернизация («Б»), первая конструктивная модификация («1»).

Следует отметить, что некоторые приборостроительные заводы используют другую (ведомственную) систему обозначений. Для электронных приборов используются буквы «Щ», Ф», «Р», которые не связаны с видом измеряе-

мых величин. Например, Щ68003; Ф-3О и Р386 – универсальные вольтметры; Ф5126 – цифровой фазометр; Щ400 – омметр; Р-33 – магазин сопротивлений.

Ниже приведены наиболее распространенные подгруппы и виды приборов.

Подгруппа	Вид	Наименование	Пример обозначения
В – приборы для измерения напряжения	В1	Поверочные приборы или установки	В1-18
	В2	Вольтметры постоянного напряжения	В2-32А/3
	В3	Вольтметры переменного напряжения	В3-55Б
	В4	Импульсные вольтметры	В4-8А/1
	В6	Селективные вольтметры	В6-9
	В7	Универсальные вольтметры	В7-34/1
	В8	Измерители отношений	В8-6
	В9	Преобразователи напряжений	В9-13/2
Ч – приборы для измерения частоты и времени	Ч1	Стандарты частоты и времени	Ч1-1
	Ч3	Частотомеры электронно-счетные	Ч3-32А
	Ч4	Частотомеры гетеродинные, емкостные, мостовые	Ч4-12Б
	Ч9	Преобразователи частоты	Ч9-5/1
Ф – приборы для измерения разности фаз и группового времени запаздывания	Ф1	Установка для поверки измерителей разности фаз и группового времени запаздывания	Ф1-4
	Ф2	Измерители разности фаз (фазометры)	Ф2-13
	Ф3	Фазовращатели измерительные	Ф3-6А
	Ф4	Измерители группового времени запаздывания	Ф4-18
С – приборы для наблюдения, измерения и исследования формы сигнала и спектра	С1	Осциллографы универсальные	С1-144/1
	С2	Измерители коэффициента амплитудной модуляции	С2-15
	С3	Измерители девиации частоты	С3-12
	С4	Анализаторы спектра	С4-77
	С6	Измерители нелинейных искажений	С6-11
	С7	Осциллографы скоростные, стробоскопические	С7-19
	С8	Осциллографы запоминающие	С8-20
	С9	Осциллографы специальные	С9-23

Продолжение таблицы

Г – генераторы измерительные	Г2	Генераторы шумовые	Г2-59
	Г3	Генераторы низкочастотные	Г3-33
	Г4	Генераторы высокочастотные	Г4-158
	Г6	Генераторы универсальные	Г6-36
Е – измерители компонентов цепей	Е3	Измерители индуктивностей	Е3-7
	Е6	Измерители сопротивлений	Е6-18
	Е7	Измерители универсальные	Е7-11
	Е8	Измерители емкости	Е8-4
У – усилители измерительные	У2	Усилители селективные	У2-8
	У3	Усилители высокочастотные	У3-28
	У4	Усилители низкочастотные	У4-6
	У5	Усилители постоянного тока	У5-9
	У7	Усилители универсальные	У7-2
Б – источники питания	Б2	Источники переменного тока	Б2-3
	Б4	Источники калиброванные	Б4-16
	Б5	Источники постоянного тока	Б5-71/4
	Б6	Источники регулируемые	Б6-24
	Б7	Источники универсальные	Б7-12

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Технические характеристики стандартных измерительных шунтов

Тип	$I_{ном}$, А	$U_{ном}$, мВ	$R_ш$, мкОм	Размеры, см	Масса, кг	Класс точности
75 Ш	75	75	1000	12×6×6	0,240	0,2
	150	75	500	12×6×6	0,265	0,2
100 ШС	2000	100	50,00	30×10×10	8,0	0,5
	4000	100	25,00	30×21×10	18,0	0,5
	6000	100	16,67	30×30×10	24,3	0,5
75 ШСМ	7500	75	10,0	25×22×7	14,0	0,5

Примечания:

75 ШП – взаимозаменяемый переносный измерительный шунт с номинальным напряжением 75 мВ;

100 ШС – взаимозаменяемый стационарный измерительный шунт с номинальным напряжением 100 мВ;

75 ШСМ – взаимозаменяемый стационарный модернизированный измерительный шунт с номинальным напряжением 75 мВ;

$I_{ном}$ – номинальный (измеряемый) ток;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение на шунте при протекании по нему номинального тока;

$R_ш$ – номинальное сопротивление шунта.

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

Технические характеристики устройства типа И58М

Устройство предназначено для измерений постоянного тока в диапазоне от 4 до 70 кА в цепях с номинальным напряжением до 1 кВ и частоте вспомогательного напряжения (50 ± 0,5) Гц.

Устройство состоит из трансформатора постоянного тока (ТПТ) и вспомогательного устройства (ВУИ).

Устройство изготавливается в восьми модификациях. В качестве примера ниже (в таблице) приведены основные технические характеристики пяти модификаций устройства.

Модификация устройства	**Номинальный первичный измеряемый ток, кА**	**Пределы измерения, кА**	**Обозначение ТПТ, входящего в комплект**	**Размеры окна ТПТ, мм**
И-58М-1	15	от 7,5 до 15	И-58М/1	152×152
И-58М-2	25	от 12,5 до 25	И-58М/2	252×236
И-58М-3	35	от 24,5 до 35	И-58М/3	252×300
И-58М-4	50	от 25 до 50	И-58М/2×2	252×263
И-58М-5	70	от 49 до 70	И-58М/3×2	252×300

Во всех модификациях устройства в комплект входит один ТПТ, кроме модификаций 4 и 5, имеющих по два трансформатора типа И58М/2 и И58М/3 соответственно.

Номинальная нагрузка для модификаций 1–5 составляет 1,2 Ом.

Погрешность коэффициента трансформации в пределах измерений, указанных в приведенной таблице, не превышает ± 0,5 %.

Питание осуществляется от сети переменного тока напряжением 22 В и частотой 50 Гц. Потребляемая мощность не превышает 45 кг для модификации 1 и 200 кг для модификаций 2 и 3.

Масса вспомогательного измерительного устройства (ВУИ) не превышает 25 кг.

С устройствами типа И58М/2 – И 58М/5 поставляются токовое и промежуточное реле для защиты устройств при внезапном отключении измеряемого тока.

Наработка на отказ не менее 2500 ч. Срок службы не менее 6 лет.

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

Технические характеристики добавочного сопротивления типа Р-109

Номинальное значение сопротивления, кОм	Номинальный электрический ток, мА	Номинальное электрическое напряжение, В	Примечание
300	5,0	1,5	Предназначено для расширения пределов измерения вольтметров М-151 и М1501 Класс точности 0,5 Норм. усл. эксп. (20 ± 10) °С Масса 1,5 кг
400	5,0	2,0	
600	5,0	3,0	
1333	3,0	4,0	

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

Технические характеристики жидкостных термометров

Термометр	Тип	Предел измерения, °С	Цена деления, °С	Предел допускаемой основной погрешности, °С	Размеры термометра, мм			Примечание
					Общая длина	Погружаемая длина	Диаметр	
Промышленный для судовых двигателей	ТП 14–1	0–150	2	± 2 (0–100) ± 4 (101–150)	235	115	7±1	Палочный (тип А)
	ТП 14–2				270	150		
	ТП 17–1	100–650	5	±5 (100–300) ±7 (301–500) ±10 (501–650)	410	200	6±1	Палочный, ртутный (тип А)
	ТП 17–2				485	275		
Промышленный виброустойчивый	ТП 21–1	0–100	1	±1	275; 295; 315; 335; 465; 614	60; 80; 120; 160; 400	–	Ртутный, с вложенной шкалой (тип Б)
	ТП 21–2	0–150	2	±2				
	ТП 21–3	0–200						
Лабораторный химический	ТЛ 4–1	от –3 до +20	0,1	± 0,3 ± 0,2	530_{-30}	–	11±1	Тип Б Для измерения температуры в лаборатор-ных условиях (тип Б)
	ТЛ 4–2	0–55						
	ТЛ 4–8	190–260	0,2	±0,4(101–200) ±0,8(201–300) ±1 (301–360)				
	ТЛ 4–9	240–310						

Продолжение таблицы

Лабораторный химический	ТЛ 2–1	от –30 до +70	1	± 1 (–30…+100) ± 2 (101–200)	250_{-20}	–	8±1	Для лабораторных измерений (тип Б)
	ТЛ 2–2	0–100						
	ТЛ 2–3	0–150			280_{-20}	–		
Образцовый	ТО–1	Основная шкала 0–5	0,01	± 0,015	560±10	–	16–1	Высокоточные измерения (не более 5 °С)
		Вспомогательная шкала от –20 до +150	5	–	–	–	–	

ПРИЛОЖЕНИЕ 13

Технические характеристики манометрических термометров

Тип	Характеристика	Диапазон измерений, °С		Класс точности	Термобаллон		Длина капилляра, м
		Нижний	Верхний		Диаметр, мм	Длина, мм	
ТПГ – 4	Термометр показывающий газовый	+50	600	1,0	20	до 630	до 2,5
ТПЖ – 4	Термометр показывающий жидкостный	+50	300	1,5	12	до 400	до 10
ТЖС – 711	Термометр показывающий самопищущий	+50	300	2,5	12	до 400	до 10
ТПП – 4Ш	Термометр показывающий конденсационный	0	300	1,5	16	до 250	до 16
ТПП-СК	Термометр показывающий конденсационный с электроконтактным устройством	0	300	2,5	16	до 250	до 16

ПРИЛОЖЕНИЕ 14

Визуальный оптический пирометр «Проминь»

Визуальный оптический пирометр «Проминь» предназначен для измерения яркостной температуры раскаленных твердых или жидких тел в металлической, машиностроительной, химической и других отраслях промышленности.

Пирометр выполнен в виде малогабаритного переносного прибора. Корпус состоит из камеры и рукоятки. В верхней части корпуса помещены объективная труба с однолинзовым объективом, перемещающимся при наводке вдоль оптической оси, и окулярная труба. В рукоятке находится блок питания пирометра.

Принцип действия пирометра основан на уравнивании яркости изображения объекта с яркостью эталонного источника – специальной пирометрической лампы.

Основные данные

Диапазон измеряемых температур, °С	800–4000
Поддиапазоны, °С	800–1400
	1200–2000
	1800–4000
Эффективная длина волны пиромета во всем диапазоне измеряемых температур, мкм	0,656±0,005
Основная допустимая погрешность, °С:	
– в пределах измерения температур 800–1400 °С	±12
– в пределах измерения температур 1800–3200 °С	±50
– в пределах измерения температур 3200–4000 °С	±90
Масса, кг	1,6
Вероятность безотказной работы пирометра за 500 часов	0,85
Срок службы пирометра, лет	≥ 6

ПРИЛОЖЕНИЕ 15

Телескоп пирометра суммарного излучения типа ПИРС-019 с усилителем

Телескоп пирометра типа ПИРС-019 предназначен для бесконтактного измерения радиационной температуры поверхностей нагретых тел. Рассчитан на эксплуатацию при температуре окружающего воздуха от 5 до 50 °С и относительной влажности от 30 до 80 %. Усилитель рассчитан на эксплуатацию при температуре окружающей среды от 10 до 35 °С и относительной влажности до 80 %.

Технические данные

Диапазон измерений, °С	20–300
Основная допускаемая погрешность в диапазоне измерения, °С	
20–100	± 2,0
40–150	± 2,5
50–200	± 3,0
100–300	± 4,5
Инерционность, С	не более 2,0
Потребляемая мощность, В•А	не более 6,0
Вероятность безотказной работы прибора за 500 часов	0,85
Габаритные размеры (мм) и масса (кг) комплектующих единиц:	
– телескопа	160×105×120; 10
– охладителя	115×125×150; 0,7
– усилителя	150×140×400; 8,0

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

Методические указания к выполнению лабораторных работ

Б1.В.09 ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Направление -
15.03.06 Мехатроника и робототехника
Профиль -
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрены на заседании кафедры			Рассмотрен методической комиссией факультета	
Информатики			Горно-механического	
(название кафедры)			*(название факультета)*	
Зав. кафедрой		Председатель	Председатель	
(подпись)			*(подпись)*	
Дружинин А.В.			Осипов П.А..	
(Фамилия И.О.)			*(Фамилия И.О.)*	
Протокол № 1 от 26.09.2023			Протокол № 2 от 20.10.2023	
(Дата)			*(Дата)*	

Екатеринбург

Введение

Цель данных лабораторных работ состоит в закреплении теоретических основ курса «Интеллектуальные системы» для студентов специальности «Прикладная математика», включающего изучение семейства методов оптимизации, известных как генетические алгоритмы.

Все работы проводятся в лаборатории, оборудованной персональными компьютерами под управлением *Microsoft Windows XP* или выше. Рекомендуемой средой для решения задач является *MATLAB*. Студенты, впервые приступившие к работе, обязаны пройти инструктаж по технике безопасности и расписаться в соответствующем журнале. К выполнению лабораторных работ допускаются только студенты, получившие допуск преподавателя после собеседования о теоретической части и основах работы в среде *MATLAB*.

Порядок выполнения лабораторных работ

1. Загрузить систему *MATLAB* и изучить справочные материалы по функциям системы, необходимым для решения задачи.
2. Составить алгоритм и написать программу на языке *MATLAB* для решения задачи.
3. Оформить отчет по лабораторной работе. Каждый отчет должен содержать следующие элементы.
   3.1. Формулировку задачи и числовые данные конкретных примеров.
   3.2. Текст программы.
   3.3. Результаты работы программы.

Лабораторная работа №1. Оптимизация функций вещественных переменных

Цель работы

Приобретение навыков работы со стандартным модулем *MATLAB*, предоставляющим возможность решения различных оптимизационных задач с помощью генетических алгоритмов.

Методические указания

Генетические алгоритмы (ГА) относятся к семейству алгоритмов глобальной оптимизации. Первоначальная форма ГА, введенная Дж. Холландом, является алгоритмом перехода от рассматриваемой по-

пуляции хромосом[1], под которыми понимались последовательности бит фиксированной длины, к новой популяции с помощью своего рода естественного отбора, сопровождаемого применением так называемых операторов *скрещивания, мутации и инверсии.* Оператор селекции выбирает хромосомы, которым будет позволено воспроизводиться, так чтобы хромосомы с лучшими значениями целевой функции в среднем имели большее потомство. Оператор скрещивания меняет местами соответствующие отрезки двух хромосом, имитируя биологическую рекомбинацию; оператор мутации инвертирует значения случайным образом выбранных бит хромосомы; оператор инверсии переворачивает непрерывный отрезок хромосомы.

Впоследствии интенсивное взаимодействие между исследователями, изучающими различные эволюционные методы, привело к тому, что границы между ГА, эволюционными стратегиями, эволюционным программированием и другими подходами такого рода стали несколько размыты. Вследствие этого термин «генетический алгоритм» нередко обозначает нечто весьма отличное от оригинальной формулировки, данной Холландом. Таким образом, под генетическим алгоритмом понимается не столько конкретный алгоритм, сколько целое семейство методов, объединенных общей концепцией.

В целом, ГА описывает способ эволюционирования популяции, состоящей из множества индивидуумов, по определенным правилам таким образом, чтобы собрать как можно больше индивидуумов в области с как можно лучшими значениями целевой функции. Общая структура ГА включает следующие шаги.

1. Создается исходная популяция, обычно случайная.
2. Для каждого индивидуума вычисляется значение целевой функции.
3. К популяции применяются операторы селекции, скрещивания и мутации. В результате получается новая популяция такого же размера.
   3.1. Оператор селекции выбирает индивидуумов, которые будут участвовать в процессе репродукции. При этом вероятность выбора каждого конкретного индивидуума тем выше, чем лучше его значение целевой функции. Индивидуум может как быть выбран несколько раз, так и не быть выбран вовсе.

[1] Правильнее было бы *популяции особей,* но в ГА не делается различия между особями и их хромосомами.

3.2. Оператор скрещивания формирует одного или большее количество потомков, комбинируя хромосомы двух родителей (в некоторых случаях может использоваться большее количество родительских индивидуумов).
3.3. Оператор мутации модифицирует хромосому индивидуума случайным образом. Он может использоваться после оператора скрещивания, или же вместо него для генерации потомков с использованием хромосомы единственного родителя.
4. Текущая популяция заменяется новой.
5. Процесс повторяется с шага 2, пока не будет выполнен оговоренный заранее критерий останова.

В качестве хромосом/индивидуумов могут применяться объекты самого разного типа: битовые, целочисленные, вещественные или комплексные векторы, конечные автоматы, деревья выражений и пр.

В состав системы *MATLAB*[2] включен модуль «*Genetic Algorithm and Direct Search*» (*GADS*). Помимо ГА, в него также входят так называемые алгоритмы прямого поиска (*Direct/Pattern Search*) и имитации отжига (*Simulated Annealing and Threshold Acceptance*). Для работы с ГА предназначены следующие функции: `ga`, `gaoptimget` и `gaoptimset`, `gatool`. Первая является собственно реализацией ГА, две следующие предназначены для манипулирования ее параметрами, а последняя вызывает графический интерфейс, имеющий идентичную функциональность, но большую наглядность. Приведем несколько примеров использования данных функций.

Простейший пример: поиск минимумов функций одной переменной x^2 и $\sin x$ (поскольку ГА имеет стохастическую природу, при каждом его вызове ответы получаются различные).

```
>> ga(@(x)x^2,1)
ans =
    0.0048
>> ga(@sin,1)
ans =
   -1.5650
```

Не очень высокая точность результатов является следствием щадящих значений параметров ГА, выставляемых по умолчанию. Интересной особенностью второго примера является то, то минимум найден вне

[2] Приведенные здесь сведения относятся к *GADS* версии 2.1 в составе *MATLAB* 7.4 (R2007a).

начального диапазона поиска (по умолчанию отрезок $[0;1]$: в общем случае, в зависимости от параметров алгоритма, популяция в поисках экстремума может уйти довольно далеко от своего изначального месторасположения. Тем не менее, с точки зрения вычислительной эффективности выгоднее сразу нацеливать ГА на область, в которой, предположительно, находится решение.

Аналогично производится поиск минимума функции большего количества переменных (здесь $f(x) = (\sin x_1)(\sin x_2)$).

```
>> ga(@(x)sin(x(1))*sin(x(2)),2)
ans =
   -1.5663    1.5724
```

Чтобы получить более адекватный ответ, воспользуемся возможностью уточнения результатов с помощью традиционных алгоритмов минимизации (в данном случае стандартной функции `fminsearch`).

```
>> opt=gaoptimset('HybridFcn',@fminsearch);
>> ga(@(x)sin(x(1))*sin(x(2)),2,...
   [],[],[],[],[],[],[],opt)
ans =
   -1.5708    1.5708
```

Здесь `HybridFcn` — один из множества параметров, с помощью которых универсальный алгоритм, представленный функцией `ga`, адаптируется под конкретные задачи.

Общий синтаксис `ga` выглядит следующим образом:

```
x = ga(fitnessfcn,nvars,A,b,...
       Aeq,beq,LB,UB,nonlcon,options)
x = ga(problem)
[x,fval,exitflag,output,population,scores] = ga(...)
```

Здесь `fitnessfcn` — целевая функция с одним (векторным) аргументом; `nvars` — количество неизвестных. Параметры `A` и `b` описывают линейные ограничения в виде неравенств: $Ax \leq b$; `Aeq` и `beq` — линейные ограничения в виде равенств: $A_{eq}x = b_{eq}$. Параметры `LB` и `UB` представляют собой нижние и верхние границы значений неизвестных (*Lower Bounds* и *Upper Bounds* соответственно): $x_i \in [LB_i, UB_i]$. Параметр `nonlcon` — функция, описывающая нелинейные ограничения задачи. Эта функция принимает в качестве аргумента x и возвращает два вектора `C` и `Ceq`; ГА, в свою очередь, ищет такое решение задачи, чтобы вы-

полнялись условия $C \leq 0$ и $C_{eq} = 0$. Последний аргумент — структура, формируемая с помощью функции `gaoptimset`. Все аргументы, отвечающие за ограничения, имеют смысл только для индивидуумов типа `doubleVector`. Обязательными в первой форме вызова являются лишь первые два аргумента; остальные можно опустить или указать как `[]`. Во второй форме вызова единственный аргумент является структурой, формируемой при экспорте задачи из интерфейса `gatool`.

На выходе функции имеем вектор `x`, дающий искомую точку минимума; значение целевой функции в этой точке `fval`; числовой код `exitflag`, указывающий причину прекращения работы ГА (коды см. в справке); структуру `output`, содержащую вспомогательную информацию, которая, в частности, может применяться для воспроизведения работы алгоритма с сохранением идентичных результатов; финальную популяцию `population` и значения целевой функции на ней `scores`. Все выходные параметры (кроме `x`) опциональны.

Варианты задания

Построить графики (поверхности и линии уровня) следующих тестовых функций для размерности пространства поиска $n = 2$. Используя командный (`ga`) и графический интерфейсы (`gatool`) модуля *GADS*, продемонстрировать нахождение их минимумов для $n = 2, 5, 10, 100$ (где это применимо).

Вар.	**Функция**
1.	Сферическая функция, или функция Де Джонга 1 (*sphere model, De Jong's function 1*) — гладкая выпуклая унимодальная функция, мечта любого алгоритма оптимизации. $$f(x) = \sum_{i=1}^{n} x_i^2, \qquad x_i \in [-5{,}12; 5{,}12].$$ (Глобальный минимум: $x_i = 0$.)
2.	Гиперэллипсоидная функция (*axis parallel hyper-ellipsoid function*). $$f(x) = \sum_{i=1}^{n} i x_i^2, \qquad x_i \in [-5{,}12; 5{,}12].$$ (Глобальный минимум: $x_i = 0$.)
3.	Повернутая гиперэллипсоидная функция (*rotated hyper-ellipsoid function*).

	$$f(x) = \sum_{i=1}^{n} \left(\sum_{j=1}^{i} x_j \right)^2, \qquad x_i \in [-65{,}536; 65{,}536].$$ (Глобальный минимум: $x_i = 0$.)
4.	Ступенчатая функция, или функция Де Джонга 3 (*step function, De Jong's function 3*) состоит из множества плоских горизонтальных поверхностей. Подобные функции создают проблемы многим алгоритмам оптимизации, поскольку такие плоскости не дают информации о предпочтительном направлении поиска. $$f(x) = 6n + \sum_{i=1}^{n} \lvert [x_i] \rvert, \qquad x_i \in [-5{,}12; 5{,}12].$$
5.	Функция (она же банановая функция, она же долина) Розенброка, или функция Де Джонга 2, (*Rosenbrock's function (banana function, valley), De Jong's function 2*). Классическая задача о поиске экстремума, находящегося в узкой изогнутой долине. Найти последнюю легко, но спуск по ней к минимуму — задача нетривиальная. Функция является мультимодальной при $n > 3$. $$f(x) = \sum_{i=1}^{n-1} \left(100\left(x_{i+1} - x_i^2\right)^2 + (x_i - 1)^2 \right), \qquad x \in [-5{,}12; 5{,}12].$$ (Глобальный минимум: $x_i = 1$.)
6.	Функция Де Джонга с гауссовыми возмущениями (*gaussian quartic, De Jong's function 4*) позволяет оценить надежность алгоритма оптимизации при работе с зашумленными данными. $$f(x) = \sum_{i=1}^{n} \left(i x_i^4 + gauss(0{,}1) \right), \qquad x_i \in [-1{,}28; 1{,}28],$$ где $gauss(m, d)$ — функция, возвращающая нормально распределенные случайные величины с математическим ожиданием m и дисперсией d.
7.	Функция Растригина (*Rastrigin's function*): аналог функции №1 с многочисленными регулярно распределенными минимумами. $$f(x) = 10n + \sum_{i=1}^{n} \left(x_i^2 - 10 \cos 2\pi x_i \right), \qquad x_i \in [-5{,}12; 5{,}12].$$ (Глобальный минимум: $x_i = 0$.)
8.	Функция Швефеля (*Schwefel's sine root function*) имеет обманчивый рельеф: глобальный минимум находится вдалеке от локального ми-

	нимума, наиболее схожего с ним по величине функции. $$f(x) = \sum_{i=1}^{n} \left(-x_i \sin\sqrt{|x_i|}\right), \qquad x_i \in [-500; 500].$$ (Глобальный минимум: $x_i = 420{,}9687$.)
9.	Функция Грайвенка (*Griewangk's function*). Мультимодальная функция с регулярно распределенными минимумами; аналог функции Растригина. $$f(x) = 1 + \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i^2}{4000} - \prod_{i=1}^{n} \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right), \qquad x_i \in [-600; 600].$$ (Глобальный минимум: $x_i = 0$.)
10.	Функция Эккли (*Ackley's path function*): часто используемая мультимодальная тестовая функция. $$f(x) = 20 + e - 20\exp\left(-0{,}2\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i^2}\right) - \exp\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\cos(2\pi x_i)\right),$$ $x_i \in [-30; 30]$. (Глобальный минимум: $x_i = 0$.)
11.	Сумма различных степеней (*Sum of different powers*): часто используемая унимодальная тестовая функция. $$f(x) = \sum_{i=1}^{n} |x_i|^{i+1}, \qquad x_i \in [-1; 1].$$ (Глобальный минимум: $x_i = 0$.)
12.	Функция Михалевича (*Michalewicz's function*): мультимодальная функция с $n!$ локальными экстремумами, рельеф которой состоит из почти плоских участков с глубокими прямыми расщелинами. При больших m последние становятся уже, их склоны — вертикальнее, а задача оптимизации превращается в своего рода поиск иголки в стоге сена. $$f(x) = -\sum_{i=1}^{n} \left(\sin(x_i)\sin^{2m}\left(\frac{ix_i^2}{\pi}\right)\right), \qquad m = 10, x_i \in [0; \pi].$$
13.	Функция Бранинса (*Branins's rcos function*): тестовая функция с тремя глобальными минимумами. $$f(x_1, x_2) = \left(x_2 - \frac{5{,}1}{4\pi^2}x_1^2 + \frac{5}{\pi}x_1 - 6\right)^2 +$$

	$$+10\left(1-\frac{1}{8\pi}\right)\cos(x_1)+10, \qquad x_1 \in [-5;10], x_2 \in [0;15].$$ (Глобальные минимумы: $(-\pi; 12{,}275)$, $(\pi; 2{,}275)$, $(9{,}425; 2{,}475)$.)
14.	Функция Изома (*Easom's function*): унимодальная тестовая функция, в которой глобальный минимум и окружающий его нетривиальный рельеф занимают лишь небольшую часть пространства поиска. $$f(\mathrm{x}_1, \mathrm{x}_2) = -\cos(\mathrm{x}_1)\cos(\mathrm{x}_2)\exp(-(\mathrm{x}_1-\pi)^2-(\mathrm{x}_2-\pi)^2),$$ $$\mathrm{x}_{1,2} \in [-100; 100].$$ (Глобальный минимум: $(\pi; \pi)$.)
15.	Функция Голдстейна (*Goldstein-Price function*): $$f(x_1, x_2) =$$ $$= [1+(1+x_1+x_2)^2(19-14x_1+3x_1^2-14x_2+6x_1x_2+3x_2^2)] \times$$ $$\times [30+(2x_1-3x_2)^2(18-32x_1+12x_1^2+48x_2-36x_1x_2+27x_2^2)];$$ $$x_{1,2} \in [-2; 2].$$ (Глобальный минимум: $(0; -1)$.)
16.	Шестигорбая функция (*Six-hump camel back function*) имеет в области поиска шесть локальных минимумов, два из которых являются глобальными. $$f(x_1, x_2) = \left(4-2{,}1x_1^2+\frac{x_1^4}{3}\right)x_1^2+x_1x_2+(-4+4x_2^2)x_2^2;$$ $$x_1 \in [-3; 3], x_2 \in [-2; 2].$$ (Глобальные минимумы: $(-0{,}0898; 0{,}7126)$, $(0{,}0898; -0{,}7126)$.)

Вопросы для собеседования

1. Что такое генетический алгоритм?
2. Какова общая схема работы ГА?
3. Как производится решение задач с помощью ГА в *MATLAB*?
4. Чем отличается реализация ГА в *MATLAB* от канонического алгоритма?

Лабораторная работа №2. Оптимизация функций вещественных переменных, часть 2

Цель работы

Приобретение навыков реализации и применения генетических алгоритмов в задачах оптимизации функций нескольких вещественных переменных.

Методические указания

Существует большое количество разновидностей операторов, соответствующих шагу 3 общего ГА. Выбор тех или иных вариантов определяется в первую очередь типом хромосом. Приведем варианты операторов, применимых в задачах оптимизации функций вещественных переменных.

1. Селекция (для поиска минимума).
   1.1. Популяция упорядочивается по значениям целевой функции, после чего ее вторая половина отбрасывается, а первая дублируется.
   1.2. Популяция упорядочивается по значениям целевой функции. Каждому индивидууму назначается вес, равный $1/\sqrt{n}$, где n — номер его позиции. Производится случайный выбор индивидуума, причем вероятность выбора каждого из индивидуумов пропорциональна его весу. Процесс повторяется столько раз, сколько особей должно быть в популяции.
   1.3. Выбираются несколько случайных индивидуумов. Лучший из них помещается в новую популяцию. Процесс повторяется столько раз, сколько особей нужно выбрать.
2. Скрещивание. Популяция перемешивается случайным образом, после чего к первым $[nr_c/2]$ парам индивидуумов x_{2i-1} и x_{2i}, $i = 1, \dots, [nr_c/2]$, где n — размер популяции, а r_c — вероятность скрещивания, применяется один из следующих вариантов действий.
   2.1. Производится одноточечный или двухточечный кроссовер векторов-хромосом.
   2.2. Составляются (масштабированные) выпуклые линейные комбинации родительских хромосом.
   2.3. Симулированное бинарное скрещивание:

$$x'_{1,2} = \big((1 \pm \beta)x_1 + (1 \mp \beta)x_2\big)/2\,,$$
$$\beta = \begin{cases}(2u)^{1/(\eta+1)}, & u \le 1/2,\\ (2(1-u))^{-1/(\eta+1)}, & u > 1/2,\end{cases}$$

где $x_{1,2}$ — родительские хромосомы, $x'_{1,2}$ — потомки, u — случайная величина, равномерно распределенная на $[0;1]$, а η — выбираемый пользователем параметр, определяющий форму функции распределения коэффициента β.

3. Мутация. К $[nr_m]$ случайно выбранным индивидуумам, где n — размер популяции, а r_m — вероятность мутации, применяется один из следующих вариантов действий.
   3.1. К выбранным векторам прибавляются нормально распределенные смещения с нулевым математическим ожиданием и выбранной заранее дисперсией.
   3.2. Каждая координата выбранных векторов с некоторой вероятностью заменяется на случайное число из диапазона, соответствующего области поиска.

Варианты задания

Написать программу, реализующую генетический алгоритм, и решить с ее помощью задачу на нахождение минимума функции с одним экстремумом, с несколькими локальными экстремумами, а также минимума линейной функции на выпуклом множестве:

- $f(x,y) = (x-0{,}4)^2 + (y-0{,}6)^4 \to \min$;
- $g(x,y) = f(x,y) + (\sin 10x)(\sin 10y) \to \min$;
- $\begin{cases}x + y \to \min,\\ f(x,y) \le 1.\end{cases}$

На каждой итерации ГА показывать текущую популяцию в виде облака точек. Программы для каждого из трех пунктов должны отличаться *только* видом целевой функции.

Сравнить результаты с (более) точными, найденными аналитически или с помощью функций, реализующих традиционные алгоритмы оптимизации.

Решить те же задачи с помощью стандартного модуля *MATLAB GADS*. Сравнить количество итераций и время, необходимое для достижения аналогичной точности результата.

Ввиду особенностей языка *MATLAB* программа должна использовать технику векторизации вычислений везде, где это возможно, для достижения высокого быстродействия.

Операторы селекции, скрещивания и мутации выбираются из приведенного выше списка в соответствии со своим вариантом (параметры операторов оставлены на усмотрение разработчика).

Вариант	**Селекция**	**Скрещивание**	**Мутация**
1	1.1.	2.1.	3.1.
2	1.1.	2.1.	3.2.
3	1.1.	2.2.	3.1.
4	1.1.	2.2.	3.2.
5	1.1.	2.3.	3.1.
6	1.1.	2.3.	3.2.
7	1.2.	2.1.	3.1.
8	1.2.	2.1.	3.2.
9	1.2.	2.2.	3.1.
10	1.2.	2.2.	3.2.
11	1.2.	2.3.	3.1.
12	1.2.	2.3.	3.2.
13	1.3.	2.1.	3.1.
14	1.3.	2.1.	3.2.
15	1.3.	2.2.	3.1.
16	1.3.	2.2.	3.2.
17	1.3.	2.3.	3.1.
18	1.3.	2.3.	3.2.

Вопросы для собеседования

1. Приведите примеры операторов селекции.
2. Приведите примеры операторов скрещивания и мутации, используемых в дискретных ГА.
3. Приведите примеры операторов скрещивания и мутации, используемых в непрерывных ГА.

4. Почему недостаточно одной лишь классической (бинарной) версии ГА?

Лабораторная работа №3. Эволюционный процесс

Цель работы

Применение генетических алгоритмов к оптимизационным задачам нестандартного вида.

Методические указания

ГА обладают рядом преимуществ перед традиционными методами оптимизации, в частности:

- переменные целевой функции могут быть как непрерывными, так и дискретными;
- отсутствует необходимость в вычислении производных;
- производится одновременный поиск в широком диапазоне значений переменных;
- возможна эффективная работа с функциями большого числа переменных;
- возможно эффективное распараллеливание алгоритмов;
- ГА применимы к целевым функциям со сложным рельефом, с большим количеством локальных экстремумов;
- результат может представлять собой перечень возможных оптимальных решений, а не просто одну точку в пространстве поиска;
- могут применяться различные формы представления (кодирования) переменных;
- целевые функции могут иметь самую разную природу: замкнутые формулы, вычисления на основе сложных алгоритмов, экспериментальные данные и пр.

Данные свойства позволяют ГА решать задачи, не поддающиеся традиционным методам. Более того, существуют вариации[3], в рамках которых индивидуумы не просто указывают на некоторую точку пространства поиска, а, в некотором смысле, «ведут активный образ жизни». Это эволюционное и генетическое программирование. Роль хромосом играют в первом случае конечные автоматы, а во втором — программы. В то время как в ГА целевая *функция* фиксирована, а индивидуумы представля-

[3] Их не относят напрямую к ГА, но считают родственными алгоритмами.

ют собой *данные,* здесь ситуация обратная: исходные *данные* выбираются заранее, а популяция состоит из *функций,* представленных в специфическом виде. Общая схема алгоритма мало чем отличается от ГА. Наиболее существенная разница связана с вычислением целевой функции и операторами скрещивания и мутации.

Задача, поставленная в данной лабораторной работе, не сводится к оптимизации какой-либо конкретной функции вещественных переменных. Тем не менее, она естественным образом решается с помощью ГА, если позволить целевой функции ранжировать индивидуумов на основании не только их собственных характеристик, но также и характеристик остальных индивидуумов в популяции.

Таким образом, если в предыдущей работе целевая функция *могла* быть сконструирована так, чтобы применяться ко всей популяции сразу, здесь она *должна* быть написана именно таким образом. В качестве аргумента ей передается весь имеющийся набор хромосом, а значения функции формируются на основе сравнения нескольких (в данном случае двух) хромосом. При этом целевая функция фактически частично берет на себя роль оператора селекции.

Варианты задания

Смоделировать эволюционный процесс, определить его сходимость, локализовать устойчивое значение генотипа в $(0{,}05; 0{,}95)^2$ для целевой функции, назначающей каждой особи ранг путем случайного разбиения популяции на пары с последующим проведением поединков в каждой из них.

Две координаты в составе хромосом задают, соответственно, выносливость (x_i) и силу (y_i) особи. Кроме того, для каждой особи формулой $p_i = 1 - (x_i + y_i)/2$ задана вероятность попадания по противнику. В начале поединка каждая особь получает запас энергии, равный ее выносливости. В ходе поединка особи по очереди пытаются нанести друг другу удары (попадая со своей вероятностью p_i); в случае успеха энергия атакуемого уменьшается на величину, равную силе атакующего (p_i не изменяется). Как только энергия одной из особей становится неположительной, ее противник выигрывает поединок.

По итогам турниров ранги назначаются таким образом, чтобы проигравшие отсеивались, а победители оценивались по трем следующим вариантам критерия.

Вариант	Цель ранжирования победителей
1.	Без предпочтений.
2.	Минимизация количества раундов поединка.
3.	Максимизация количества раундов поединка.

Вопросы для собеседования

1. Какие понятия заимствует ГА из биологии?
2. Что такое векторизация целевой функции, для чего она применяется?
3. Каковы преимущества и недостатки ГА по сравнению с традиционными методами оптимизации?
4. Какие существуют разновидности ГА?
5. В каких еще, кроме ГА, задачах и методах оптимизации используются эволюционные аналогии?

Лабораторная работа №4. Рефлексивная метаоптимизация

Цель работы

Поиск параметров генетического алгоритма, обеспечивающих наилучшую его сходимость.

Методические указания

Генетические алгоритмы представляют собой не классические целостные последовательности действий, но системы взаимодействующих друг с другом компонент (популяция и модифицирующие ее операторы). Каждая из этих компонент может иметь различные качественные и количественные характеристики. Например, популяция может характеризоваться типом индивидуумов, их областью значений и количеством. Каждый оператор характеризуется своим алгоритмом и его числовыми параметрами, а скрещивание и мутация, кроме того, вероятностью применения.

В зависимости от перечисленных характеристик эффективность генетического алгоритма может существенно различаться. С самого начала развития технологии ГА предпринимались попытки поиска оптимальных параметров. В данной лабораторной работе предлагается один из возможных подходов к этой задаче, основанный на технике рефлексивной метаоптимизации.

При предложенном ниже выборе параметров, подвергаемых оптимизации, данная лабораторная работа может служить иллюстрацией к вопросу о целесообразности совместного применения операторов скрещивания и мутации. Поскольку они решают одну и ту же задачу (создание индивидуумов для нового поколения), может возникнуть желание исключить один из них, чтобы избавиться от дублирования функциональности.

Рассматривая данные операторы по отдельности, исследователи пришли к следующим выводам. Если целевая функция имеет высокую степень регулярности и четко выраженный глобальный минимум, использование оператора скрещивания позволяет существенно ускорить поиск последнего. При увеличении числа локальных минимумов эффективность оператора скрещивания существенно снижается. Аналогичный эффект имеет место, если значения целевой функции в точках локальных минимумов приближаются к величине глобального минимума. С другой стороны, при использовании исключительно оператора мутации на работу ГА практически не влияют ни количество локальных экстремумов, ни их величины.

Таким образом, взаимные преимущества двух данных видов операторов проявляются в различных классах задач. В целом, использование скрещивания позволяет ускорить сходимость ГА, в то время как мутация, внося в популяцию помехи, замедляет стягивание ее к искомой точке, одновременно защищая от вырождения (преждевременного схождения к ложным экстремумам).

Варианты задания

Взять решения трех подзадач лабораторной работы №2, соответствующие своему варианту. Выбрать 2–3 параметра ГА, подлежащие оптимизации (например, вероятность скрещивания, вероятность и силу мутации). Выбрать для них адекватные области поиска, а для остальных параметров — подходящие фиксированные значения. Сформировать целевую функцию верхнего уровня, которая принимает значения выбранных параметров в качестве аргументов, производит поиск решения соответствующим алгоритмом и возвращает некоторый показатель качества результата (на выбор разработчика), т.е. меру его близости к истинному положению минимума. Для каждой подзадачи определить положение минимума этой целевой функции с помощью ГА, сравнить и объяснить результаты.

Вопросы для собеседования

1. Какова функция оператора селекции?
2. Какова функция оператора скрещивания?
3. Какова функция оператора мутации?
4. Чем отличаются роли операторов скрещивания и мутации?
5. Что такое гибридный ГА?

Библиографический список

1. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Интеллектуальные информационные системы: Учебник. — М.: Финансы и статистика, 2004.
2. Афонин В. Л., Макушкин В. А. Интеллектуальные робототехнические системы: курс лекций: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям в области информ. технологий. — М.: Интернет-Ун-т Информ. Технологий, 2005.
3. Букатова И. Л. и др. Эвоинформатика. Теория и практика эволюционного моделирования. — М.: Наука, 1991.
4. Поздяев В. В. Интеллектуальные системы. Уч. пособие. — Н. Новгород: Изд-во НГТУ, 2008.

Содержание

Введение....3

Порядок выполнения лабораторных работ....3

Лабораторная работа №1. Оптимизация функций вещественных переменных....3

Лабораторная работа №2. Оптимизация функций вещественных переменных, часть 2....11

Лабораторная работа №3. Эволюционный процесс....14

Лабораторная работа №4. Рефлексивная метаоптимизация....16

Библиографический список....18

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.В.09 ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Направление -

15.03.06 Мехатроника и робототехника

Профиль -

Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрены на заседании кафедры	Рассмотрен методической комиссией факультета
Информатики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Дружинин А.В.	Осипов П.А..
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 26.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

ВВЕДЕНИЕ

Интеллектуальные информационные системы проникают во все сферы нашей жизни, поэтому становятся неотъемлемым элементом при решении задач автоматизации и управления сложными объектами и процессами.

Современное понятие интеллектуальных систем (ИС) сформировалось в процессе развития теоретических основ кибернетики, современной теории управления, теории алгоритмов, развития современных информационных технологий и обобщения накопленных научных знаний, методов и средств в области искусственного интеллекта (ИИ).

Целью текста лекций является обзорное ознакомление студентов, обучающихся по направлению «Информатика и вычислительная техника» и другим родственным направлениям, с проблематикой и областями использования искусственного интеллекта в автоматизированных системах обработки информации и управления, освещение теоретических и организационно-методических вопросов построения и функционирования систем, основанных на знаниях, привитие навыков практических работ по проектированию баз знаний. В результате изучения лекционного материала студенты получат знания по архитектуре и классификации ИС, методам представления знаний, областям применения, а также научатся выбирать адекватные проблемной области методы проектировании базы знаний.

Поэтому в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования для формирования у студентов общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций в модуль «Профессиональные дисциплины» учебного плана подготовки магистров по направлению 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника» введена учебная дисциплина «Интеллектуальные системы».

Изучение студентами дисциплины «Интеллектуальные системы» должно ознакомить с основными понятиями и концепциями теории интеллектуальных систем, а также осветить вопросы построения и функционирования ИС, основанных на знаниях, с целью вооружить будущих магистров теоретическими знаниями и практическими навыками, необходимыми для решения задач создания и использования современных интеллектуальных информационных технологий и систем в области информационно-аналитического обеспечения подготовки и принятия управленческих решений по всем аспектам экономических, социальных и технических проблем.

Предполагается, что студенты уже прослушали курсы по информатике, программированию и основам алгоритмизации, базам данных в информационно-управляющих системах, математическим основам кибернетики, теории систем и управления, моделированию систем, системам автоматизации и управления.

В связи с большим объемом информации при ограниченном количестве аудиторных часов в одном семестре (18 часов лекционных и 18 часов практических занятий) в определенной мере связаны ограниченный объем учебного по-

собия и краткость изложения материала, что во многом и предопределило его обзорный характер. Поэтому основная часть материала дана в виде краткой справочной информации со ссылками на более полные источники. В соответствии с этим в список рекомендуемой литературы включены источники, необходимые для углубленного изучения рассматриваемых вопросов. К настоящему времени издано множество научно-технической литературы по указанной проблематике, включая и учебно-методические издания из различных вузов. При формировании списка литературы учитывалась реальная возможность доступа студентов к рекомендуемым материалам, поэтому представленный список не претендует на полноту и не является исчерпывающим перечнем. В связи с этим ограничены ссылки на известные, но трудно доступные классические основополагающие работы, а в первую очередь указаны ссылки на более доступные современные книги, а также различные методические и справочные материалы в Интернете, отдельные фрагменты из которых частично использованы в данном пособии.

По причине ограниченности часов дисциплины внимание в тексте лекций уделено такому актуальному направлению ИИ как интеллектуальный анализ данных (ИАД). Приводится классификация методов и программных средств реализации ИАД, которые будут более подробно изучаться на практических занятиях.

Курс лекций включает 18 часов лекций, которые в соответствии с рабочей программой дисциплины сгруппированы в 3 раздела:

1. Введение в интеллектуальные системы.

2. Модели представления знаний. Способы формализации интеллектуальных задач с помощью методов искусственного интеллекта.

3. Интеллектуальный анализ данных. Методы ИАД и их программная реализация.

В конце каждого раздела помещены контрольные вопросы, которые служат для проверки качества усвоения и понимания материала и могут быть включены в экзаменационные билеты.

Фактическое содержание данного текста лекций является введением в научные и методические основы создания и применения современных интеллектуальных систем и технологий применительно к решению различных сложных задач управления в компаниях. Приведенный в тексте лекций материал интегрирует информацию из наиболее актуальных и значимых источников, что позволяет в лаконичной форме дать магистрантам результаты, достигнутые в теории и практике ИС.

Глава 1. ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

1.1. История исследований и основные понятия в области искусственного интеллекта

Возникновение понятия интеллектуальных систем тесно связано с понятием искусственного интеллекта (ИИ) и современной теории управления [1-14]. Исследования в области ИИ стали развиваться наиболее активно с 50-х годов прошлого века в связи с развитием средств вычислительной техники, информатики и кибернетики.

На разных этапах развития ИИ исследователями различных направлений ИИ предлагались свои определения ИИ. Так в математическом энциклопедическом словаре приводилось следующее определение: «Искусственный интеллект (от латинского intellectus – познание, понимание, рассудок) это раздел информатики, изучающий методы, способы и приемы моделирования и воспроизведения с помощью ЭВМ разумной деятельности человека, связанной с решением задач». Академик Г.С. Поспелов в книге «Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии» писал: «под искусственным интеллектом понимается наука о том, как заставить машину делать то, что умеет делать умный человек». В зарубежной литературе применяют определение термина «искусственный интеллект» как «Artificial Intelligence» (AI). В отличие от философии и психологии, искусственный интеллект в области исследований и разработок технических систем ориентирован не столько на понимание, сколько на построение интеллектуальных систем.

На первоначальном этапе развития были выделены и на данный момент остались актуальными следующие **основные проблемы искусственного интеллекта и направления его развития**:

1. Представление знаний.
2. Решение неформализованных задач.
3. Создание комплексных экспертных систем.
4. Интеллектуальный анализ данных.
5. Общение с ЭВМ на естественном языке.
6. Обучение.
7. Когнитивное моделирование (cognos – знание) и моделирование разума.
8. Обработка визуальной информации и робототехника.

Исторически существует 2 направления исследований в области искусственного интеллекта:

1. Моделирование результатов интеллектуальной деятельности или так называемый машинный интеллект.
2. Моделирование биологических систем или так называемый искусственный разум.

Первое направление рассматривает продукт интеллектуальной деятельности человека, изучает его структуру и стремится воспроизвести этот продукт сред-

ствами компьютерной техники. Успехи этого направления тесно связаны с развитием вычислительной техники и программирования.

Второе направление ИИ рассматривает данные о нейрофизиологической деятельности человека. Разработчики стремятся воспроизвести структуры и процессы в нервной системе с помощью технических устройств так, чтобы их поведение хорошо совпадало с поведением человека в заданных ситуациях. Развитие этого направления тесно связано с успехами наук о человеке. В свою очередь работы по искусственному разуму ведутся по следующим направлениям:

1. Моделирование механизмов умственной деятельности, связанное с созданием нейроподобных сетей (нейрокибернетика). В первую очередь изучаются нервные клетки – нейроны и структуры из взаимосвязанных клеток – нейронные сети. Механизмы таких разработок воплощены в нейрокомпьютеры.

2. Моделирование информационных процессов или так называемое эвристическое программирование, при котором моделируется не нейронные клетки, а мыслительные операции, выполнение которых приводит к успешному решению задачи. Успехи теоретического и прикладного характера достигнуты за счет разработки общего решателя задач – GPS (General Problem Solver).

3. Комплексный подход или так называемое эвристическое моделирование.

Необходимо отметить, что современная теория ИИ и созданные на ее основе интеллектуальные системы (ИС) и технологии были подготовлены трудами многих исследователей на протяжении многих лет.

В 40-50-х годах прошлого века началось бурное развитие информационных технологий и автоматизации: были созданы первые ЭВМ, а Норберт Винер создал свои основополагающие работы по кибернетике, и произошло окончательное оформление искусственного интеллекта как научного направления.

В конце 50-х годов XX в. родилась модель лабиринтного поиска. В этом подходе задача представляется как некоторое пространство состояний в форме графа, и в этом графе проводится поиск оптимального пути от входных данных к результирующим.

Начало 60-х годов – это эпоха эвристического программирования. Эвристика – правило, теоретически не обоснованное, но позволяющее сократить количество переборов в пространстве поиска. Эвристическое программирование – разработка стратегии действий на основе известных, заранее заданных, эвристик.

В 1963-1970 гг. к решению задач ИИ стали подключать методы математической логики. На основе метода резолюций француз Альбер Кольмероэ в 1973 г. создает язык логического программирования Пролог. Однако большинство реальных задач не сводится к набору аксиом. Человек, решая производственные задачи, не использует классическую логику, и поэтому применение логических моделей при всех своих преимуществах имеют существенные ограничения по классам решаемых задач.

В середине 1970-х годов в США вместо поисков универсальных алгоритма мышления стала развиваться идея моделирования конкретных знаний специа-

листов экспертов. В США появились первые коммерческие системы, основанные на знаниях, или экспертные системы (ЭС). Возник новый подход к решению задач искусственного интеллекта – представление знаний. В это время были созданы две первые классические экспертные системы для медицины (MYCIN) и для химии (DENDRAL).

В конце 70-х годов в Японии было объявлено о начале разработки проекта машин V поколения, основанных на знаниях.

В середине 1980-х годов был разработан в Центре космических исследований NASA язык CLIPS, обеспечивающий поддержку программирования на основе правил объектно-ориентированного и процедурного программирования. Название языка CLIPS – аббревиатура от C Language Integrated Production System.

Начиная с середины 80-х годов, повсеместно происходит коммерциализация искусственного интеллекта. Растут ежегодные капиталовложения, создаются промышленные экспертные системы. Растет интерес к самообучающимся системам, издаются десятки научных журналов, ежегодно собираются международные и национальные конференции по различным направлениям ИИ.

В Советском Союзе работы по искусственному интеллекту начались даже раньше, чем на западе [1-3, 5]. В 1954 г. в МГУ начал свою работу семинар «Автоматы и мышление» под руководством академика А.А. Ляпунова В этом семинаре принимали участие физиологи, лингвисты, психологи, математики. Принято считать, что именно в это время родился искусственный интеллект в России.

Среди наиболее значимых результатов, полученных отечественными учеными в 60-е годы, отмечают алгоритм «Кора» М.М. Бонгарда, моделировавший деятельность человеческого мозга при распознавании образов.

В 1965-1980 гг. происходит рождение нового направления – cитуационного управления. Основателем этой научной школы стал проф. Д.А. Поспелов, разработавший специальные модели представления ситуаций.

В 1974 г. при Комитете по системному анализу при президиуме АН СССР начал работу Научный совет по проблеме «Искусственный интеллект». В 1988 г. создается Ассоциация Искусственного Интеллекта (АИИ). Ее членами стали более 300 исследователей, а президентом избирается Д. А. Поспелов.

В 1980-1990 гг. проводятся активные исследования в области представления знаний, разрабатываются языки представления знаний, экспертные системы (более 300). В МГУ им. М. В. Ломоносова создается язык РЕФАЛ.

В конце 90-х годов начинают более активно использоваться идеи и методы искусственного интеллекта в теории и практике управления, появляются отдельные разработки на базе ИИ, включаемые в состав систем управления (СУ). Такие разработки стали называть интеллектными компонентами (ИК) систем управления.

В качестве наиболее используемого типа ИК для СУ становятся искусственные нейронные сети. В системах управления применяется несколько типов ИНС: многослойный персептрон, сеть Кохонена (как однослойная самооргани-

зующаяся карта – Kohonen's Self-Organizing Map), сеть Хопфилда, машина Больцмана и другие [5-8].

В качестве второго типа интеллектных компонент систем управления рассматриваются эволюционные (генетические) алгоритмы, которые тоже являются инструментом поиска рациональных решений. Эволюционные алгоритмы (ЭА) понимаются как алгоритмы со специальными структурами данных, оперирующие с популяциями индивидов.

Для реализации высокоинтеллектуальных функций систем управления используются интеллектные компоненты третьего типа – системы, основанные на «знаниях» (СОЗ, Knowledge-Based Systems). Например, знания могут быть представлены в некотором логическом языке. Обработка знаний с помощью логических средств позволяет получать некоторые предпочтения на множестве допустимых управлений с целью выбора одного из них. В общем случае СОЗ оперируют с более широкой информацией логическими, объектно-ориентированными и другими моделями, основанными на знаниях экспертов. Вместе с тем СОЗ могут использовать и традиционные алгоритмы, базирующиеся на уравнениях динамики.

1.2. Основные направления исследований в области интеллектуальных систем

Рассмотрим краткие характеристики основных направлений исследований в области искусственного интеллекта, описанные в [1-3, 5-11].

Разработка интеллектуальных систем, основанных на знаниях. Это одно из главных направлений ИИ. Основной целью построения таких систем являются выявление, исследование и применение знаний высококвалифицированных экспертов для решения сложных задач, возникающих на практике. При построении систем, основанных на знаниях (СОЗ), используются знания, накопленные экспертами в виде конкретных правил решения тех или иных задач. Это направление преследует цель имитации человеческого искусства анализа неструктурированных и слабоструктурированных проблем. В данной области исследований осуществляется разработка моделей представления, извлечения и структурирования знаний, а также изучаются проблемы создания баз знаний (БЗ), образующих ядро СОЗ. Частным случаем СОЗ являются экспертные системы (ЭС), подробное описание которых можно найти в [1, 5, 9, 17].

Разработка естественно-языковых интерфейсов и машинный перевод. Проблемы компьютерной лингвистики и машинного перевода разрабатываются в ИИ с 1950-х гг. Системы машинного перевода с одного естественного языка на другой обеспечивают быстроту и систематичность доступа к информации, оперативность и единообразие перевода больших потоков. Системы машинного перевода строятся как интеллектуальные системы, поскольку в их основе лежат БЗ в определённой предметной области и сложные модели, обеспечивающие дополнительную трансляцию «исходный язык оригинала – язык смысла – язык перевода». Они базируются на структурно-логическом подходе, включающем последовательный анализ и синтез естественно-языковых сообщений. Кроме

того, в них осуществляется ассоциативный поиск аналогичных фрагментов текста и их переводов в специальных базах данных (БД). Данное направление охватывает также исследования методов и разработку систем, обеспечивающих реализацию процесса общения человека с компьютером на естественном языке (так называемые системы ЕЯ-общения). Кроме того, создаются системы речевого общения в целях повышения скорости ввода информации в ЭВМ, разгрузки зрения и рук, а также для реализации речевого общения на значительном расстоянии. В таких системах под текстом понимают фонемный текст (как слышится).

Обработка визуальной информации. В этом научном направлении решаются задачи обработки, анализа и синтеза изображений. Задача обработки изображений связана с трансформированием графических образов, результатом которого являются новые изображения. В задаче анализа исходные изображения преобразуются в данные другого типа, например в текстовые описания. При синтезе изображений на вход системы поступает алгоритм построения изображения, а выходными данными являются графические объекты (системы машинной графики).

Обучение и самообучение. Эта актуальная область ИИ включает модели, методы и алгоритмы, ориентированные на автоматическое накопление и формирование знаний с использованием процедур анализа и обобщения данных [19-21]. К данному направлению относятся появившиеся в 90-х годах системы добычи данных (Data Mining) и системы поиска закономерностей в компьютерных базах данных (Knowledge Discovery).

Игры и машинное творчество. Машинное творчество охватывает сочинение компьютерной музыки, стихов, интеллектуальные системы для изобретения новых объектов. Создание интеллектуальных компьютерных игр является одним из самых развитых коммерческих направлений в сфере разработки программного обеспечения. Кроме того, компьютерные игры предоставляют мощный арсенал разнообразных средств, используемых для обучения.

Программное обеспечение систем ИИ. Инструментальные средства для разработки интеллектуальных систем включают специальные языки программирования, ориентированные на обработку символьной информации (LISP, SMALLTALK, РЕФАЛ), языки логического программирования (PROLOG), языки представления знаний (OPS5, KRL, FRL), интегрированные программные среды, содержащие арсенал инструментальных средств для создания систем ИИ (КЕ, ARTS, GURU, G2), а также оболочки экспертных систем (BUILD, EMYCIN, EXSYS Professional, ЭКСПЕРТ), которые позволяют создавать прикладные ЭС, не прибегая к программированию [7, 15-17].

Новые архитектуры компьютеров. Это направление связано с созданием компьютеров не фон-неймановской архитектуры, ориентированных на обработку символьной информации. Известны удачные промышленные решения параллельных и векторных компьютеров, однако в настоящее время они имеют весьма высокую стоимость, а также недостаточную совместимость с существующими вычислительными средствами.

Интеллектуальные роботы. Создание интеллектуальных роботов составляет конечную цель робототехники. В настоящее время в основном используются программируемые манипуляторы с жёсткой схемой управления, названные роботами первого поколения. Несмотря на очевидные успехи отдельных разработок, эра интеллектуальных автономных роботов пока не наступила. Основными сдерживающими факторами в разработке автономных роботов являются нерешённые проблемы в области интерпретации знаний, машинного зрения, адекватного хранения и обработки трёхмерной визуальной информации.

1.3. Основные признаки и отличия интеллектуальных систем

Для интеллектуальных систем характерны следующие признаки [6-7, 10-11]:

1. Развитые коммуникативные способности: возможность обработки произвольных запросов в диалоге на языке максимально приближенном к естественному (система естественно-языкового интерфейса – СЕЯИ).

2. Направленность на решение слабоструктурированных, плохо формализуемых задач (реализация мягких моделей).

3. Способность работать с неопределенными и динамичными данными.

4. Способность к развитию системы и извлечению знаний из накопленного опыта конкретных ситуаций.

5. Возможность получения и использования информации, которая явно не хранится, а выводится из имеющихся в базе данных.

6. Система имеет не только модель предметной области, но и модель самой себя, что позволяет ей определять границы своей компетентности.

7. Способность к выводам по аналогии.

8. Способность объяснять свои действия, неудачи пользователя, предупреждать пользователя о некоторых ситуациях, приводящих к нарушению целостности данных.

В отличие от обычных аналитических и статистических моделей, ИС позволяют получить решение трудно формализуемых слабо структурированных задач.

Возможность ИС работать со слабоструктурированными данными подразумевает наличие следующих качеств:

− решать задачи, описанные только в терминах «мягких» моделей, когда зависимости между основными показателями являются не вполне определенными или даже неизвестными в пределах некоторого класса;

− способность к работе с неопределенными или динамичными данными, изменяющимися в процессе обработки, позволяет использовать ИС в условиях, когда методы обработки данных могут изменяться и уточняться по мере поступления новых данных;

− способность к развитию системы и извлечению знаний из накопленного опыта конкретных ситуаций увеличивает мобильность и гибкость системы, позволяя ей быстро осваивать новые области применения.

Отличия программирования систем искусственного интеллекта от обычных программных систем представлены в таблице.

Таблица

Отличия интеллектуальных систем от обычных программных систем

Характеристика	Программирование в интеллектуальных системах	Традиционное программирование
Тип обработки	Символьный	Числовой
Метод	Эвристический поиск	Точный алгоритм
Задание шагов решения	Неявное	Явное
Искомое решение	Удовлетворительное	Оптимальное
Управление и данные	Смешаны	Разделены
Знания	Неточные	Точные
Модификации	Частые	Редкие

Для интеллектуальных информационных систем, ориентированных на генерацию алгоритмов решения задач, характерны следующие признаки:

– развитые коммуникативные способности;
– умение решать сложные плохо формализуемые задачи;
– способность к самообучению.

Коммуникативные способности ИС характеризуют способ взаимодействия (интерфейса) конечного пользователя с системой, в частности, возможность формулирования произвольного запроса в диалоге с ИС на языке, максимально приближенном к естественному.

Сложные плохо формализуемые задачи – это задачи, которые требуют построения оригинального алгоритма решения в зависимости от конкретной ситуации, для которой могут быть характерны неопределенность и динамичность исходных данных и знаний.

Способность к самообучению – это возможность автоматического извлечения знаний для решения задач из накопленного опыта конкретных ситуаций.

В различных ИС перечисленные признаки интеллектуальности развиты в неодинаковой степени и редко, когда все четыре признака реализуются одновременно. Условно каждому из признаков интеллектуальности соответствует свой класс ИС:

– системы с интеллектуальным интерфейсом;
– экспертные системы;
– самообучающиеся системы.

Анализ интеллектуальности систем, разработанный профессором Логиновским О.В., основан на следующих базовых интеллектуальных структурах, которые приводятся ниже в соответствии с работой [10]. Такие структуры, как идентификаторы, исполнители, накопители, модификаторы являются базовыми элементами более сложных интеллектуальных систем (экспертных, систем автоматизации управления, в частности, автоматизированных систем проектирования и управления). При этом системы становятся многоуровневыми, иерархическими, на нижнем уровне которых обязательно присутствуют интеллектуальные идентификаторы, исполнители и накопители. В конкретной предметной

области управления (планирования, проектирования) объект управления выделяется в системе идентификаторами и накопителями по принципу обратной связи.

Перечисленные виды интеллектуальных систем:

1. Интеллектуальный идентификатор (ИДЕН)

$$<\text{ИДЕН}> = \{ A, p, w, a, \text{Ш} \},$$

где A – множество объектов предметной области (опорное множество); p – подмножество A, являющееся классом эквивалентности по какому-либо признаку; w – семантическая достоверность сведения об объекте; a – семантический указатель объекта из опорного множества A; Ш – шкала понятий для множества A.

Интеллектуальный идентификатор выполняет в системе функции идентификации данных об объектах предметной области по существующим семантическим указателям, решая задачу интеллектуального распознавания объектов.

2. Интеллектуальный исполнитель (ИСП) представляет собой интеллектуальную структуру, позволяющую по данным об объекте a из опорного множества A отыскать конкретный объект и (при необходимости) осуществить операции по его воплощению в предметной области.

3. Интеллектуальный накопитель (НАК) также выполняет функции интеллектуальной системы, состоящие в пополнении данных об объекте от различных источников из множества A, формируя соответствующие базы и банки данных территориального и муниципального управления.

Формульные соотношения интеллектуальных накопителя и исполнителя аналогичны интеллектуальному идентификатору.

4. Интеллектуальный модификатор (МОД) осуществляет функции преобразования данных из одного множества A в данные об объектах другого множества A' со шкалой понятий (перечнем свойств) Ш':

$$\{ A, p, w, a, \text{Ш} \} \Rightarrow \{ A', p, w, a', \text{Ш}' \}.$$

При совпадении опорных множеств A и A', данные об объекте $a \in A$ преобразуются модификатором в данные о том же объекте (сингулярные модификаторы). Свойство сингулярности весьма характерно для автоматизированных систем проектирования и управления.

5. Интеллектуальный анализатор (АНАЛ), выполняющий функции анализа и оценки эффективности системы с учетом интеллектуальности и других основополагающих характеристик.

6. Интеллектуальный синтезатор (СИН), осуществляющий синтез новых характеристик, свойств и возможностей системы на основе сформированных баз знаний о предметной области в целом и самой системе в частности с помощью искусственного или естественного интеллекта.

На основе представленного набора интеллектуальных структур можно анализировать или формировать на множестве компонент предметной области топологию интеллектуальности посредством понятия интеллектуальной системы:

$$SI_i = \{ R_i, t_i \},$$

где R_i – множество компонент предметной области для i-той системы; t_i – топология i-той системы, включающую базу топологий в виде набора базовых интеллектуальных структур.

При $t_i = 0$, любая из рассматриваемых систем не является интеллектуальной.

Формализация процедур оценки интеллектуальности систем должна осуществляться совместно с оценкой их эффективности и конкурентоспособности:

$$SE_i = \{R_i, F_i, C_i, P_i, I_i, E_i \},$$

где F_i – множество компонент функциональной модели i-той системы; C_i – множество компонент структурной модели i-той системы; P_i – множество компонент программного обеспечения i-той системы; I_i – множество компонент информационного обеспечения i-той системы; E_i - множество характеристик эффективности i-той системы.

Все указанные компоненты и характеристики для конкретных систем всегда больше нуля. Более сильная топология соответствует более высокому уровню эффективности и конкурентоспособности системы.

1.4. Основные типы интеллектуальных систем

В данном учебном пособии, как и в [11] мы будем рассматривать следующие классы систем искусственного интеллекта:

1. Системы с интеллектуальной обратной связью и интеллектуальными интерфейсами.
2. Автоматизированные системы распознавания образов.
3. Автоматизированные системы поддержки принятия решений.
4. Экспертные системы.
5. Нейронные сети.
6. Когнитивное моделирование.
7. Генетические алгоритмы и моделирование эволюции.
8. Выявление знаний из опыта (эмпирических фактов) и интеллектуальный анализ данных (Data Mining).

Этими классами системы ИС не исчерпываются, но мы вынуждены ограничится ими, как основными, в связи с ограниченностью объема учебного пособия.

Системы с интеллектуальным интерфейсом. Применение ИИ для усиления коммуникативных способностей информационных систем привело к появлению систем с интеллектуальным интерфейсом, среди которых можно выделить следующие типы [6-7]:

1. Интеллектуальные базы данных. Они позволяют в отличие от традиционных БД обеспечивать выборку необходимой информации, не присутствующей в явном виде, а выводимой из совокупности хранимых данных.

2. Естественно-языковой интерфейс. Он применяется для доступа к интеллектуальным базам данных, контекстного поиска документальной текстовой информации, голосового ввода команд в системах управления, машинного перевода с иностранных языков. Для реализации ЕЯ-интерфейса необходимо решить проблемы морфологического, синтаксического и семантического анализа, а также задачу синтеза высказываний на естественном языке. При морфологическом анализе осуществляются распознавание и проверка правильности написания слов в словаре.

3. Гипертекстовые системы предназначены для реализации поиска по ключевым словам в базах текстовой информации. Интеллектуальные гипертекстовые системы отличаются возможностью более сложной семантической организации ключевых слов, которая отражает различные смысловые отношения терминов. Таким образом, механизм поиска работает прежде всего с базой знаний ключевых слов, а уже затем непосредственно с текстом. В более широком плане сказанное распространяется и на поиск мультимедийной информации, включающей помимо текстовой и цифровой информации графические, аудио и видео-образы.

4. Системы контекстной помощи можно рассматривать, как частный случай интеллектуальных гипертекстовых и естественно-языковых систем. В отличие от обычных систем помощи, навязывающих пользователю схему поиска требуемой информации, в системах контекстной помощи пользователь описывает проблему (ситуацию), а система с помощью дополнительного диалога ее конкретизирует и сама выполняет поиск относящихся к ситуации рекомендаций. Такие системы относятся к классу систем распространения знаний (Knowledge Publishing) и создаются как приложение к системам документации (например, технической документации по эксплуатации товаров).

5. Системы когнитивной графики позволяют осуществлять интерфейс пользователя с ИС с помощью графических образов, которые генерируются в соответствии с происходящими событиями. Такие системы используются в мониторинге и управлении оперативными процессами. Графические образы в наглядном и интегрированном виде описывают множество параметров изучаемой ситуации. Например, состояние сложного управляемого объекта отображается в виде человеческого лица, на котором каждая черта отвечает за какой-либо параметр, а общее выражение лица дает интегрированную характеристику ситуации.

Экспертные системы. Назначение экспертных систем (ЭС) заключается в решении достаточно трудных для экспертов задач на основе накапливаемой базы знаний, отражающей опыт работы экспертов в рассматриваемой проблемной области. Достоинство применения экспертных систем заключается в возможности принятия решений в уникальных ситуациях, для которых алгоритм заранее не известен и формируется по исходным данным в виде цепочки рассуждений

(правил принятия решений) из базы знаний. Причем решение задач предполагается осуществлять в условиях неполноты, недостоверности, многозначности исходной информации и качественных оценок процессов.

Экспертная система является инструментом, усиливающим интеллектуальные способности эксперта, и может выполнять следующие роли:

– консультанта для неопытных или непрофессиональных пользователей;
– ассистента в связи с необходимостью анализа экспертом различных вариантов принятия решений;
– партнера эксперта по вопросам, относящимся к источникам знаний из смежных областей деятельности.

Область исследования экспертных систем называют «инженерией знаний». ЭС применяются для решения неформализованных проблем, к которым относят задачи, обладающие одной (или несколькими) из следующих характеристик:

– задачи не могут быть представлены в числовой форме;
– неоднозначностью, неточностью, противоречивостью;
– цели нельзя выразить с помощью чётко определённой целевой функции;
– не существует однозначного алгоритмического решения задачи;
– алгоритмическое решение существует, но его нельзя использовать по причине большой размерности пространства решений и ограничений на ресурсы (времени, памяти).

Главное отличие ЭС на рис. 1 и систем искусственного интеллекта от систем обработки данных состоит в том, что в них используется символьный, а не числовой способ представления данных, а в качестве методов обработки информации применяются процедуры логического вывода и эвристического поиска решений.

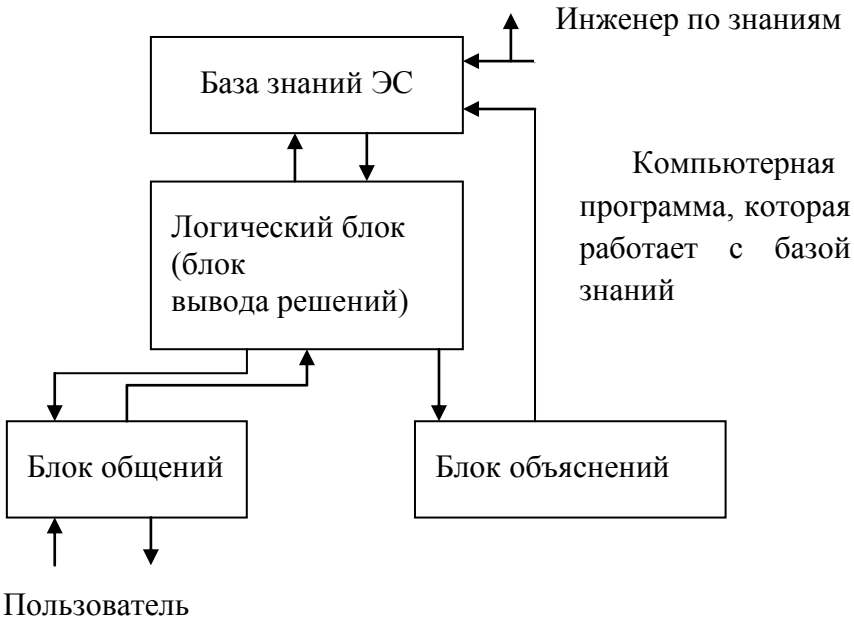


Рис. 1. Общая структура экспертной системы

Отличительным блоком структуры ЭС является логический блок (решатель), в котором вырабатывается экспертное заключение.

Структура классификации экспертных систем представлена на рис.2.



Рис. 2. Классификация экспертных систем

Классификация по решаемой задаче имеет вид:

1. Экспертные системы, обладающие средствами для интеллектуального анализа данных. Для интерпретации данных используются технологии Data Mining.

2. Диагностические экспертные системы. Они применяется при диагнозе технической системы, при диагностике в сфере медицины и в сфере финансов, банковского дела.

3. Экспертные системы мониторинга. Они способны дать объяснение данных в реальном масштабе времени, либо сигнализировать выход параметров за допустимые значения (границы) (например, в подразделениях министерства чрезвычайных ситуаций).

4. Экспертные системы прогнозирования. Системы, которые прогнозируют состояние финансового рынка, курс валют. ЭС прогнозирования являются первыми моделями аналитического плана, т. е. использующими элемент вероятности.

5. Экспертные системы планирования. С помощью таких систем составляется, например, бюджетное планирование, финансирование.

6. Экспертные системы для управления. Это системы, которые подготавливают варианты возможных решений для управления: например, системы-подсказчики для руководителей.

Классификация ЭС по связи с реальным временем:

1. Статические экспертные системы. К статическим относят такие системы, в которых базы данных и данные не меняются с течением времени (по меньшей мере, во время проведения экспертизы). Примером статической системы может служить ЭС диагностики технического состояния какого-либо устройства.

2. Динамические экспертные системы. Динамические системы применимы для задачи анализа, когда резко меняется ситуация или база знаний. Для работы такой системы должна существовать обратная связь и быстрые машины.

3. Квазидинамические экспертные системы. К квазидинамическим относятся ЭС, в которых если даже за время осуществления экспертизы параметры меняются, то при повторной экспертизе параметры остаются неизменными.

Классификация экспертных систем по типам применяемой архитектуры ЭВМ:

1. Экспертные системы с обычной архитектурой ЭВМ.
2. Экспертные системы со специальными нейрокомпьютерами – многопроцессорными вычислительными системами.

Классификация ЭС по степени интеграции с другими программами:

1. Автономные экспертные системы. К автономным ЭС относят системы, которые не требуют дополнительных программ для обработки данных.
2. Гибридные экспертные системы. К гибридным ЭС относят системы, которые работают с привлечением дополнительных программных средств.

Экспертные системы охватывают самые разные предметные области, среди которых лидируют бизнес, производство, медицина, проектирование и системы управления [1, 5-7, 15, 17, 18].

Нейронные сети. Искусственная нейронная сеть (ИНС) – это кибернетическая модель нервной системы, которая представляет собой совокупность большого числа сравнительно простых элементов – нейронов, топология соединения которых зависит от типа сети. Чтобы создать нейронную сеть для решения какой-либо конкретной задачи, следует выбрать способ соединения нейронов друг с другом и подобрать значения параметров межнейронных соединений.

Нейронные сети – обобщённое название группы математических алгоритмов, обладающих способностью обучаться на примерах, «узнавая» впоследствии черты встреченных образцов и ситуаций. Благодаря этой способности нейронные сети используются при решении задач обработки сигналов и изображений, распознавания образов, а также для прогнозирования [7].

ИНС представляет собой совокупность простых вычислительных элементов – искусственных нейронов, каждый из которых обладает определённым количеством входов (дендритов) и единственным выходом (аксоном), разветвления которого подходят к синапсам, связывающим его с другими нейронами. На входы нейрона поступает информация извне или от других нейронов. Каждый нейрон характеризуется функцией преобразования входных сигналов в выходной (функция возбуждения нейрона). Нейроны в сети могут иметь одинаковые или разные функции возбуждения. Сигналы, поступающие на вход нейрона, неравнозначны в том смысле, что информация из одного источника может быть более важной, чем из другого. Приоритеты входов задаются с помощью вектора весовых коэффициентов, моделирующих синаптическую силу биологических нейронов.

Модель искусственного нейрона представляет собой дискретно-непрерывный преобразователь информации. Информация, поступающая на вход нейрона, суммируется с учётом весовых коэффициентов w_i, сигналов x_i, $i = 1, .., n$, где n – размерность пространства входных сигналов. Потенциал нейрона определяется по формуле:

$$P = \sum_{i=0}^{n} x_i w_i.$$

Взвешенная сумма поступивших сигналов (потенциал) преобразуется с помощью передаточной функции $f(P)$ в выходной сигнал нейрона Y, который передается другим нейронам сети, т. е. $Y = f(P)$. Вид передаточной (активационной) функции является важнейшей характеристикой нейрона. В общем случае эта функция может быть ступенчатой (пороговой), линейной или нелинейной). Тип функции переноса выбирается с учётом конкретной задачи, решаемой с применением нейронных сетей. Например, в задачах аппроксимации и классификации предпочтение отдают логистической (сигмоидальной) кривой.

Нейронная сеть представляет собой совокупность искусственных нейронов, организованных слоями. При этом выходы нейронов одного слоя соединяются с входами нейронов другого.

В зависимости от топологии соединений нейронов ИНС подразделяются на одноуровневые и многоуровневые, с обратными связями и без них. Связи между слоями могут иметь различную структуру.

В однолинейных сетях каждый нейрон (узел) нижнего слоя связан с одним нейроном верхнего слоя. Если каждый нейрон нижнего слоя соединён с несколькими нейронами следующего слоя, то получается пирамидальная сеть. Воронкообразная схема соединений предполагает связь каждого узла верхнего слоя со всеми узлами нижнего уровня. Существуют также древовидные и рекуррентные сети, содержащие обратные связи с произвольной структурой межнейронных соединений.

Чтобы построить ИНС для решения конкретной задачи, нужно выбрать тип соединения нейронов, определить вид передаточных функций элементов и подобрать весовые коэффициенты межнейронных связей.

При всём многообразии возможных конфигураций ИНС на практике получили распространение лишь некоторые из них. Классические модели нейронных сетей:

- многослойные сети;
- сети Хопфилда;
- сети Хемминга;
- сети обратного распространения;
- сети встречного распространения;
- РБФ-сети;
- сети Кохонена и др.

С помощью нейронных сетей, которые относят к методам эволюционного моделирования, решается широкий класс задач: классификация образов, кластеризация, аппроксимация, прогноз данных, оптимизация, ассоциативная память, управление динамическими объектами. Причем в силу всего вышесказанного, нейронные сети в сравнении с методами математической статистики справляются с перечисленными задачами тем успешнее, чем хуже формализуема задача.

Нейросетевые технологии нашли широкое применение в таких направлениях, как распознавание печатного текста, контроль качества продукции на производстве, идентификация событий в ускорителях частиц, разведка нефти,

борьба с наркотиками, медицинские и военные приложения, управление и оптимизация, финансовый анализ, прогнозирование и др.

В сфере экономики нейросетевые технологии могут использоваться для классификации и анализа временных рядов путём аппроксимации сложных нелинейных функций.

Экспериментально установлено, что модели нейронных сетей обеспечивают большую точность при выявлении нелинейных закономерностей на фондовом рынке по сравнению с регрессионными моделями [7].

Когнитивное моделирование – это способ анализа, обеспечивающий определение силы и направления влияния факторов на перевод объекта управления в целевое состояние с учетом сходства и различия в влиянии различных факторов на объект управления.

Ведущей научной организацией России, занимающейся разработкой и применением технологии когнитивного анализа, является Институт проблем управления РАН. На их научных трудах в области когнитивного анализа и основывается данная лекция [11].

В основе технологии когнитивного анализа и моделирования (рис. 3) лежит когнитивная (познавательно-целевая) структуризация знаний об объекте и внешней для него среды.

Когнитивная структуризация предметной области – это выявление будущих целевых и нежелательных состояний объекта управления и наиболее существенных (базисных) факторов управления и внешней среды, влияющих на переход объекта в эти состояния, а также установление на качественном уровне причинно-следственных связей между ними, с учетом взаимовлияния факторов друг на друга.

Результаты когнитивной структуризации отображаются с помощью когнитивной карты (модели).

Отбор базисных факторов проводится путем применения ***PEST-анализа,*** выделяющего четыре основные группы факторов (аспекта), определяющих поведение исследуемого объекта:

- **P**olicy – политика;
- **E**conomy – экономика;
- **S**ociety – общество (социокультурный аспект);
- **T**echnology – технология.

PEST-анализ можно рассматривать как вариант системного анализа, так как факторы, относящиеся к перечисленным четырем аспектам, в общем случае тесно взаимосвязаны и характеризуют различные иерархические уровни общества, как системы.

В этой системе есть детерминирующие связи, направленные с нижних уровней иерархии системы к верхним (наука и технология влияет на экономику, экономика влияет на политику), а также обратные и межуровневые связи. Изменение любого из факторов через эту систему связей может влиять на все остальные.

Эти изменения могут представлять угрозу развитию объекта, или, наоборот, предоставлять новые возможности для его успешного развития.

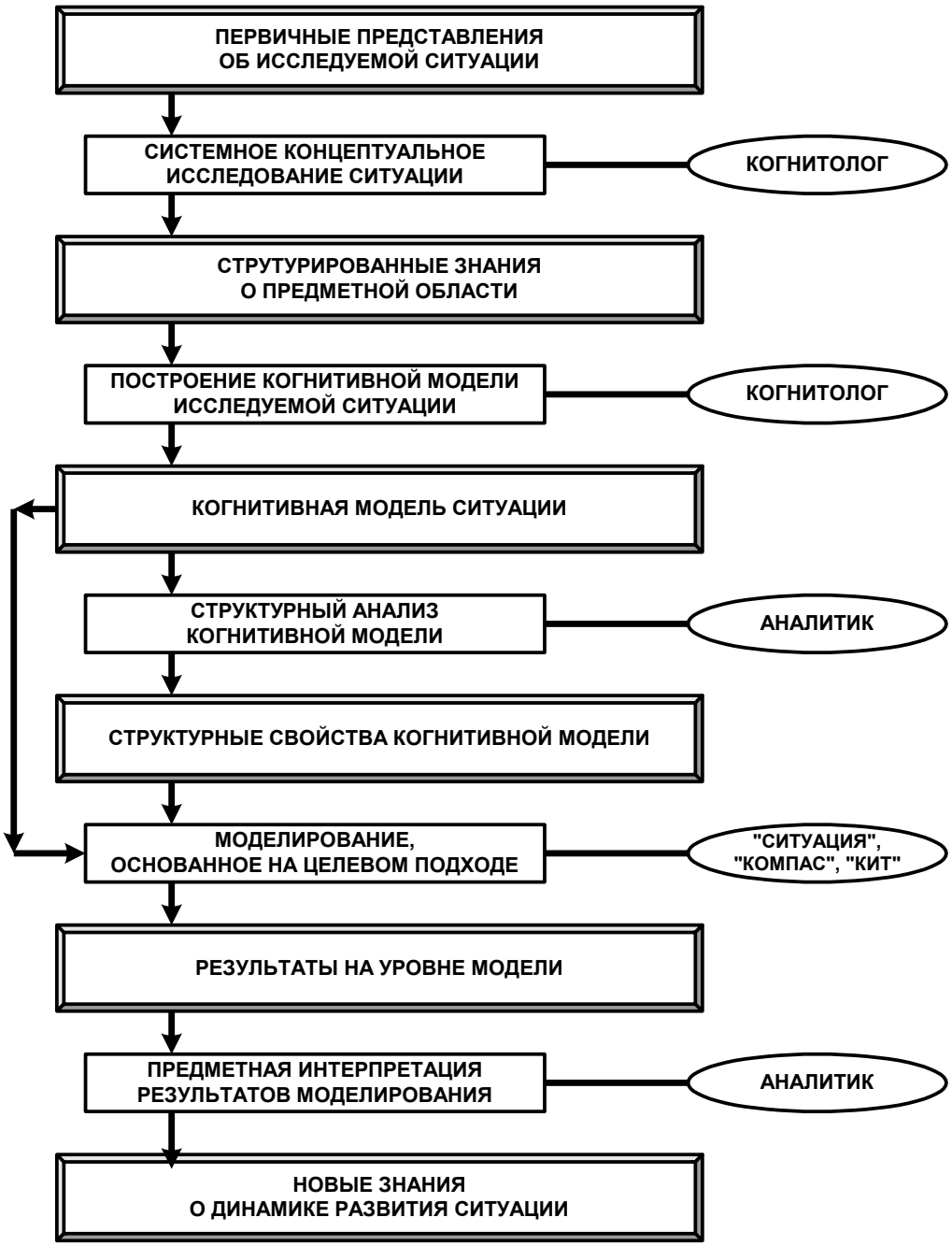


Рис. 3. Технология когнитивного анализа и моделирования

Следующий шаг – ситуационный анализ проблем, так называемый ***SWOT-анализ***:

- **S**trengths – сильные стороны;
- **W**eaknesses – недостатки, слабые стороны;
- **O**pportunities – возможности;
- **T**hreats – угрозы.

SWOT-анализ включает анализ сильных и слабых сторон развития исследуемого объекта в их взаимодействии с угрозами и возможностями и позволяет определить актуальные проблемные области, узкие места, шансы и опасности, с учетом факторов внешней среды.

Технология когнитивного анализа и моделирования поддерживается программными комплексами «Ситуация», «Компас», «КИТ» (см. рис. 3), созданными в ИПУ РАН, которые позволяют в сложных и неопределенных ситуациях быстро, комплексно и системно охарактеризовать и обосновать сложившуюся ситуацию и на качественном уровне предложить пути решения проблемы в этой ситуации с учетом факторов внешней среды.

Применение когнитивных технологий открывает новые возможности прогнозирования и управления в различных областях:

– в экономической сфере – позволяет в сжатые сроки разработать и обосновать стратегию экономического развития предприятия, банка, региона или даже целого государства с учетом влияния изменений во внешней среде;

– в сфере финансов и фондового рынка – учесть ожидания участников рынка;

– в военной области и области информационной безопасности – противостоять стратегическому информационному оружию, заблаговременно распознавая конфликтные структуры и вырабатывая адекватные меры реагирования на угрозы.

Когнитивные технологии автоматизируют часть функций процессов познания, поэтому они с успехом могут применяться во всех областях, в которых востребовано само познание. Вот лишь некоторые из этих областей:

1. Модели и методы интеллектуальных информационных технологий и систем для создания геополитических, национальных и региональных стратегий социально-экономического развития.

2. Модели выживания «мягких» систем в изменяющихся средах при дефиците ресурсов.

3. Ситуационный анализ и управление развитием событий в кризисных средах и ситуациях.

4. Информационный мониторинг социально-политических, социально-экономических и военно-политических ситуаций.

5. Разработка принципов и методологии проведения компьютерного анализа проблемных ситуаций.

6. Выработка аналитических сценариев развития проблемных ситуаций и управления ими.

7. Подготовка рекомендаций по решению первоочередных стратегических проблем на основе компьютерной системы анализа проблемных ситуаций.

8. Мониторинг проблем в социально-экономическом развитии корпорации, региона, города, государства.

9. Технология когнитивного моделирования целенаправленного развития региона РФ.

10. Анализ развития региона и мониторинг проблемных ситуаций при целенаправленном развитии региона.

Интеллектуальный анализ данных. Данная лекция основана на работах [8, 19-21]. К числу интеллектуальных технологий анализа данных относят технологии ***Data Mining*** (разведка, добыча данных), которые реализуют:

– поиск ранее неизвестных функциональных и логических закономерностей накопленной информации (интеллектуальная деятельность);

– построение моделей и правил с целью объяснения этих найденных закономерностей или найденных аномалий;

– прогнозирование развития изучаемых процессов.

Специфика современных требований к переработке данных:

– данные имеют практически неограниченный объем;

– данные являются разнородными (количественными, качественными, тестовыми и т.д.);

– результаты должны быть конкретны и понятны;

– инструменты для обработки «сырых», т. е. непроверенных, неверифицированных данных должны быть просты в использовании.

Процесс обнаружения в «сырых» данных включает в себя поиск:

– ранее неизвестных знаний;

– нетривиальных выводов;

– практически полезных выводов;

– доступных для интерпретации знаний, необходимых для принятия решений в различных сферах человеческой деятельности.

Место технологий ***Data Mining*** среди других технологий обработки данных по уровню знаний, извлекаемых из данных, приведено на рис 4.

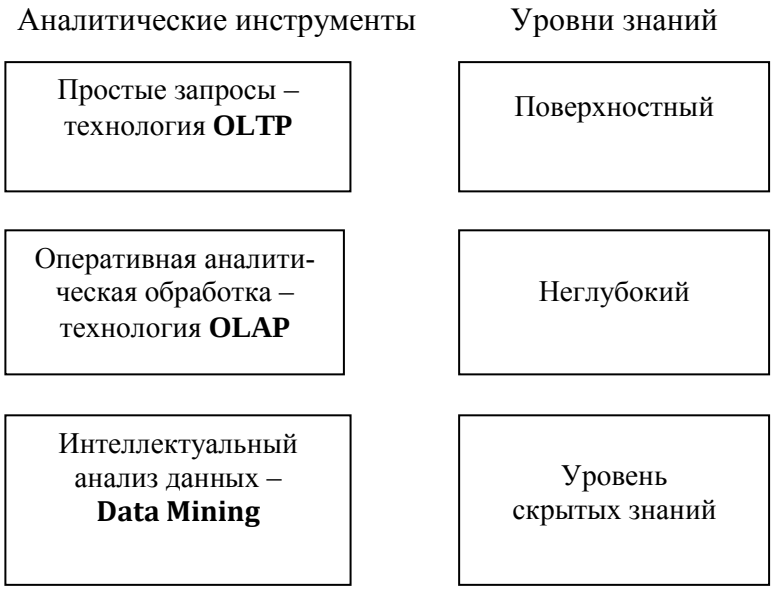


Рис. 4. Схема уровней знаний, извлекаемых из данных

Data Mining применяется в следующих отраслях:

– торговля, в том числе и розничная (анализ покупательской корзины, анализ временных шаблонов, создание прогнозируемых моделей);

– страхование;

– банковское дело (выявление мошенников с кредитными карточками, сегментация клиентов (разбиение на группы – каким клиентам какие услуги предлагать), прогнозирование изменения клиентуры);

– в сфере коммуникаций (здесь ставятся следующие задачи: анализ записей по характеристикам вызовов – какой круг клиентов, какими видами услуг пользуется; выявление лояльности клиентов);

– химия;

– промышленность;

– медицина и т. д.

Успех применения систем Data Mining основан на том, что эти технологии обеспечивают исследование эмпирических данных и выявление в них скрытых закономерностей различных видов, т. е. обеспечивают решение следующих задач:

1. Классификация – задача выявления признаков однотипных объектов для того, чтобы отнести новый объект к тому или иному классу.

2. Кластеризация – развитие идеи классификации на более сложный случай, когда сами классы объектов не предопределены, но стоит задача определить однородные группы данных.

3. Выявление ассоциаций – установление правил, указывающих на то, что при наступлении одного события с определенной вероятностью наступает другое.

4. Выявление последовательностей – установление связи между событиями, наступающими не одновременно, а с некоторым временным шагом.

5. Задача прогнозирования – оценка будущих значений, определяемых показателей на основе их текущих и ретроспективных данных. Это наиболее сложная из перечисленных задач.

Процесс информационной деятельности может быть представлен рядом временных стадий, которые изображены на рис.5.

Свободный поиск – это процесс исследования накопленных данных на предмет поиска скрытых закономерностей без предварительного выявления гипотез относительно этих закономерностей (если гипотеза скрытая, то поиск свободный).

В процессе свободного поиска используется математический аппарат условной логики, с помощью правил которой могут быть описаны группы примеров в задачах классификации и кластеризации.

На основе использования правил ассоциативной логики можно решать задачи выявления ассоциаций и последовательностей.

Выявление трендов (наличие какой-то устойчивой закономерности в том объеме данных, которые используются) и колебаний является первым этапом программирования.

<table>
<tr><td colspan="6">Стадии</td></tr>
<tr><td colspan="3">Свободный поиск</td><td colspan="2">Прогностическое моделирование</td><td>Анализ исключений</td></tr>
<tr><td>Выявление закономерностей условной логики</td><td>Выявление закономерностей ассоциативной логики</td><td>Выявление трендов и колебаний</td><td>Предсказание неизвестных значений</td><td>Предсказание развития процессов</td><td>Выявление и объяснение отклонений</td></tr>
<tr><td colspan="6">Действия</td></tr>
</table>

Рис. 5. Стадии информационной деятельности

Вторая стадия информационной деятельности – прогностическое моделирование. Осуществление действий на этой стадии становится возможным после выполнения действий на стадии свободного поиска.

Третья стадия – анализ исключения из правил. Данная стадия занимается тем, чем обусловлено выпадение какого-то параметра от ранее установленной закономерности, выявляются отклонения и даются им объяснения.

Математической основой систем Data Mining является следующие методы поиска различных закономерностей в данных: деревья решений; алгоритмы кластеризации; регрессионный анализ; нейронные сети; временные ряды и др. Указанные методы и программные продукты Data Mining подробнее описаны в главе 3.

Генетические Алгоритмы (ГА) – это адаптивные методы функциональной оптимизации, основанные на компьютерном имитационном моделировании биологической эволюции. Основные принципы ГА были сформулированы Голландом в 1975 году и хорошо описаны во многих работах и на ряде сайтов в Internet [7-8].

В генетических алгоритмах используются специфические термины, взятые из генетики, которые трактуются следующим образом. Исходные логические закономерности в базе данных именуют хромосомами, а весь набор закономерностей называют популяцией хромосом. Популяция обрабатывается с помощью процедур репродукции, изменчивости (мутаций), генетической композиции. В ходе работы процедур на каждой стадии эволюции получают популяции со все более совершенными индивидуумами.

Генетические алгоритмы сконструированы таким образом, что при генерации каждой новой популяции используются фрагменты исходных решений, к которым добавляются новые элементы, обеспечивающие улучшение решений относительно сформулированного критерия отбора. Другими словами, генети-

ческие алгоритмы используют информацию, накопленную в процессе эволюции.

В генетических алгоритмах и эволюционном программировании используют два основных механизма воспроизводства хромосом:

– воспроизводство без мутаций, соответствующее митозу, результатом которого являются потомки – копии родителей;

– воспроизводство потомков, имеющих большие отличия от родителей. Этот механизм соответствует половому размножению.

В генетических алгоритмах в основном используется механизм родительского воспроизводства с рекомбинацией и мутацией, а в эволюционном программировании – механизм на основе мутации без рекомбинации.

Таким образом, по сути дела каждый конкретный генетический алгоритм представляют имитационную модель некоторой определенной теории биологической эволюции или ее варианта. Материальное воплощение сконструированных таким образом систем до сих пор была невозможна без участия человека. Однако интенсивно ведутся работы, результатом которых является уменьшение зависимости машинной эволюции от человека. Эти работы ведутся по двум основным направлениям:

1. Естественный отбор, моделируемый ГА, переносится из виртуального мира в реальный, например, проводятся эксперименты по реальным битвам роботов на выживание.

2. Интеллектуальные системы, основанные на ГА, конструируют роботов, которые в принципе могут быть изготовлены на автоматизированных заводах без участия человека.

Генетические алгоритмы используют в теории нечётких систем для настройки параметров функций принадлежности. Интеграция чётких и нечётких нейронных сетей и генетических алгоритмов обеспечивает реализацию оптимизационной задачи. Средства fuzzy–neuro–genetic используются в интеллектуальных системах и содержат следующие процедуры:

– преобразование входных примеров в нечёткое представление;

– извлечение знаний, представленных в виде продукций ЕСЛИ–ТО из нечёткой обучающей выборки с помощью нейронной сети;

– оптимизацию структуры продукционных правил с помощью генетического алгоритма.

Активно развивается направление, ориентированное на использование генетических алгоритмов для обучения нейронных сетей и корректировки структуры уже обученной сети. В отличие от метода обратного распространения ошибки генетические алгоритмы мало чувствительны к архитектуре сети. Генетические алгоритмы чаще всего применяются для улучшения характеристик ИНС, уже созданных и обученных с применением других методов

На основе генетических алгоритмов предложены классифицирующие системы, которые можно использовать для целей управления. Классифицирующая система состоит из трёх вложенных друг в друга подсистем: классификатора, системы обучения и генетического алгоритма. В классификатор поступают

внешние сообщения и положительные оценки (поощрения) его действий. Классификатор содержит правила вида «ЕСЛИ<условие>, ТО<сообщение>», с помощью которых формируются выходные сообщения. Обучающая система выполняет оценку используемых правил. Генетический алгоритм предназначен для случайно направленной модификации правил.

В настоящее время активно развиваются методы, основанные на объединении технологий инженерии знаний и генетических алгоритмов. В области ГА разрабатываются операторы, ориентированные на обработку знаний.

Генетические алгоритмы нашли широкое практическое применение в менеджменте и управлении для решения задач поиска оптимальных решений, формирования моделей и прогнозирования значений различных показателей. Они осуществляют поиск лучших решений на основе заданной целевой функции. Значение целевой функции для многих задач весьма непросто вычислить, поэтому в ряде случаев при исследовании плохо обусловленных проблем с этой целью применяются нейронные сети, позволяющие найти решение при отсутствии явной модели. Кроме того, для вычисления целевых функций в условиях неопределённости применяются статистические методы и методы логического вывода в чёткой или нечёткой среде.

Формирование системы прогнозирующих правил. Генетические алгоритмы могут использоваться для нахождения оптимального набора правил, позволяющих прогнозировать страховые риски с учётом ряда определяющих его факторов. Для решения этой задачи необходимо иметь базу данных, содержащую фактические значения переменных, влияющих на страховой риск.

Выводы

Современное состояние разработок в области интеллектуальных систем в России можно охарактеризовать как стадию все возрастающего интереса среди широких слоев специалистов – менеджеров, инженеров, программистов и других. Наибольшие трудности в разработке интеллектуальных систем, основанных на знаниях, вызывает не сколько процесс машинной реализации систем, а этап анализа знаний и проектирования базы знаний.

Создание интеллектуальных систем должно включать три этапа:

– создание материальной системы поддержки (эта проблема в основном решена, так как ИС могут создаваться даже на базе современных персональных компьютеров);

– создание системы потенциального искусственного интеллекта, то есть программной оболочки, инструментальной системы (таких систем в настоящее время существует пока еще очень мало);

– обучение и самообучение системы искусственного интеллекта и преобразование ее в реальную ИС.

Интеллектуальные системы применяются для решения сложных задач, связанных с использованием слабо формализованных знаний специалистов-практиков, а также с логической обработкой информации. Например, поддерж-

ка принятия решения в сложных ситуациях, анализ визуальной информации, управление в социально-экономической сфере.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные проблемы искусственного интеллекта и направления его развития.
2. Назовите основные направления исследований в области искусственного интеллекта.
3. Какова история исследований в области искусственного интеллекта в нашей стране и за рубежом?
4. Перечислите признаки интеллектуальных информационных систем.
5. Сформулируйте характеристики базовых интеллектуальных структур для анализа интеллектуальности систем.
6. Дайте определение понятия «интеллектуальная система», ее место в классификации информационных систем.
7. Сформулируйте основные отличия интеллектуальных систем от обычных программных систем.
8. Приведите классификацию интеллектуальных систем, цели и пути их создания.
9. Перечислите основные типы систем с интеллектуальным интерфейсом и дайте им краткую характеристику.
10. Перечислите основные типы экспертных систем и дайте им краткую характеристику.
11. Перечислите и охарактеризуйте основные компоненты экспертных систем.
12. Каков вид передаточной (активационной) функции нейрона?
13. Назовите классические модели нейронных сетей.
14. Назовите и дайте краткую характеристику базовым архитектурам нейронных сетей.
15. Охарактеризуйте место технологий интеллектуального анализа данных (Data Mining) среди других технологий обработки данных.
16. Сформулируйте задачи и стадии интеллектуального анализа данных и типы определяемых закономерностей.
17. Перечислите основные направления эволюционного моделирования и приведите основные факторы, определяющие неизбежность эволюции.
18. Какие алгоритмы называют генетическими? Сформулируйте основные особенности генетических алгоритмов.
19. Как проводится отбор базисных факторов управления и внешней среды, влияющих на переход объекта в будущие целевые и нежелательные состояния при когнитивной структуризации предметной области?
20. Назовите области применения когнитивных технологий для решения задач прогнозирования и управления.

Глава 2. МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

2.1. Представление знаний, рассуждений и задач

Систему знаний (СЗ) можно определить как некую математическую модель определенной области прикладного неформализованного знания. Система понятий и отношений этой математической модели должны отображать систему понятий и отношений прикладного знания, а зависимости, существующие в этой модели, аппроксимируют соответствующие зависимости прикладного знания [5, 8, 12, 25].

Разработанные модели должны быть зафиксированы в памяти ЭВМ и использоваться для решения с помощью прикладных программ.

Создание интеллектуальных систем, основанных на знаниях, связано с решением следующих взаимосвязанных проблем:

1. Проблема формализации знаний. Эта задача решается с помощью специалистов-прикладников и математиков. Результатом ее будет разработка концептуальной схемы модели.
2. Проблема представления знаний. Ее решение состоит в разработке формального аппарата для фиксации знаний в памяти ЭВМ.
3. Проблема использование знаний. Суть ее заключается в необходимости разработки теории вычислений и преобразований в построенных ранее моделях.
4. Проблема создания баз знаний и систем управления ими. Эта задача для системных программистов по разработке средств программной поддержки моделей знаний.

Знания о предметной области и способах решения в ней задач весьма разнообразны. Возможны различные классификации этих знаний, которые подробно описаны в литературе по управлению знаниями, в частности в [12, 25].

Требования к системам знаний. Выделяют следующие особенности, которыми должна обладать система знаний:

– Терпимость к противоречиям, которая вытекает из открытости внешнего мира и соответственно неполноты знаний о нем.

– Обеспечение вывода, т.е. система знаний должна быть способна к логическому выводу как из уже имеющейся информации, так и из вновь поступающих сведений. Различают два типа вывода**:**

  – свободный (вывод осуществляется при поступлении новой информации в СЗ);

  – направленный (вывод запускается при поступлении в СЗ конкретного запроса).

– Критичность к новой информации. Это способность проверить достоверность новой информации и согласовать её с имеющимися знаниями.

– Дробность системы знаний – знания в системе должны быть разбиты на фрагменты, каждый из которых может быть эффективно использован.

– Обучаемость и способность к переструктуированию знаний, т. е. в ходе функционирования должна обеспечиваться перестройка структуры СЗ, повышающая ее эффективность.

Особенности знаний для их представления в ЭВМ. Для представления СЗ в компьютере она должна обладать следующими особенностями:

1. Внутренняя интерпретируемость – каждая информационная единица должна иметь уникальное имя, по которой бы информационная система находила ее, а также отвечала бы на запросы, в которой это имя упомянуто.

2. Структурированность знаний, т. е. информационные единицы должны обладать определенной структурой, это означает, что должны быть возможности для установления отношений типа: часть – целое или род – вид, или элемент – класс.

3. Связность – в информационной базе между информационными единицами должна быть возможность установления связей различного типа, характеризующих отношения между ними. Семантика отношений может носить декларативный или процедурный характер.

Различают отношения структуризации, функциональные отношения типа аргумент – функция, казуальные отношения (причинно – следственные связи) и семантические отношения (объединяют и представляют все ранее перечисленные связи).

Перечисленные особенности позволяют создавать общую модель знаний, которую называют «семантическая сеть». Она представляет модель знаний, в вершинах которой находятся информационные единицы, а дуги характеризуют виды связей между информационными единицами. Если связи иерархичны, то они определяют отношение структуризации, а неиерархические связи будут определять отношения иных типов.

4. Семантическая метрика – отношение, которое характеризует ситуационную близость информационных единиц, т.е. силу ассоциативных связей между ними.

5. Активность. Появление новых данных должны стать источником активности интеллектуальной системы, т.е. выполнение программ в ИС должно инициироваться текущим состоянием информационной базы.

Перечисленные пять особенностей информационных единиц определяют ту грань, за которой данные превращаются в знания, базы данных перерастают в базы знаний (БЗ), а совокупность средств, обеспечивающих работу со знаниями, образуют систему управления базой знаний (СУБЗ).

Таким образом, база знаний (англ. Knowledge Base, KB) – это особого рода база данных, разработанная для управления знаниями (метаданными), то есть сбором, хранением, поиском и выдачей знаний. Раздел искусственного интеллекта, изучающий базы знаний и методы работы со знаниями, называется инженерией знаний. Под базами знаний понимают совокупность фактов и правил вывода, допускающих логический вывод и осмысленную обработку информации.

База знаний – важный компонент интеллектуальной системы. Наиболее известный класс таких программ – экспертные системы. Они предназначены для построения способа решения специализированных проблем, основываясь на записях БЗ и на пользовательском описании ситуации.

Создание и использование систем искусственного интеллекта потребует огромных баз знаний.

2.2. Модели представления знаний

В интеллектуальных системах в соответствии с [2, 5, 8] наиболее распространенными являются следующие способы представления знаний:

1. Логические модели.
2. Сетевые модели.
3. Фреймовые модели.
4. Продукционные модели.
5. Другие методы представления знаний.

Логические модели. В основе модели лежит формальная система, которая на языке теории множеств описывается следующей четверкой множеств:

$$M = <T, P, A, B>,$$

где T – это множество базовых элементов различной природы, представляющих тезаурус, например: термины из какого либо словаря, набор деталей из конструкции; P – это множество синтаксических правил, с помощью которых из элементов множества T образуют синтаксически правильные совокупности; A – элементы этого множества образуют аксиомы, определенные на множестве P; B – множество правил вывода, которые применяются к элементам множества A.

Для множества T существует некоторый способ П(T) определения принадлежности к этому множеству, а для определения принадлежности к множеству A вводится процедура П(A).

Во множество A входят информационные единицы, которые введены в базу извне, а с помощью правил вывода из них получают новые производные знания. Таким образом, описанная система представляет собой генератор порождения новых знаний в данной предметной области.

Логические модели представления знаний реализуются с помощью логики предикатов. Предикатом называют функцию, принимающую только два значения: истина и ложь и предназначенную для выражения свойств объектов или связей между ними. Кроме того, могут использоваться логические знаки конъюнкции (∨), импликации (∧), логического следования (=>), кванторы ∀,∃ и другие.

Рассмотрим в качестве примера знание: «Когда температура в печи достигает 120˚ и прошло менее 30 мин с момента включения печи, то давление не превосходить критического. Если с момента включения прошло более 30 мин, то необходимо включить вентиль N2».

В этой записи первая строка представляет собой описание декларативного знания, а вторая строка описывает процедурные знания.

С помощью логики предикатов, указанное утверждение выглядит следующим образом:

$$P(p = 120)\ T(t < 30) \rightarrow (D < D\text{кр.});$$
$$P(p = 120)T(t > 30) \Rightarrow F(N2),$$

где $P(p = 120)$ создает предикат, который становится истинным, когда температура достигается 120˚; $T(t < 30)$ – предикат, остающийся истинным в течение 30 мин с начала процесса; $T(t > 30)$ – предикат, становящийся истинным по истечении 30 мин; $(D < D\text{кр.})$ – это утверждение о том, что давление ниже критического; $F(N2)$ – команда открыть вентиль $N2$.

Разработанные системы логического программирования Пролог, в ответах на простейшие запросы к базам знаний, выдают значения «истина» и «ложь» в зависимости от наличия соответствующих фактов [15, 16]. Преимущества логической модели представления знаний заключается в возможности непосредственно запрограммировать механизм вывода правильных высказываний.

Подобные языки логического типа использовались на ранних стадиях развития интеллектуальных систем, однако впоследствии большее внимание стали уделять другим моделям, что связано с такими недостатками логической модели, как отсутствие наглядности и удобочитаемости, а также громоздкость записи, которая приводит к трудности нахождения ошибок. Еще один недостаток состоит в том, что большинство интеллектуальных задач характеризуется недостаточной полнотой, неточностью и некорректностью. Это важно, например, в медицине и биологических науках, так как они слабо формализованные. Поэтому в данных областях науки чаще используют методы аналогий и ассоциаций.

Сетевые модели. В основе этой модели лежит конструкция, которая называется семантической сетью, которая может быть описана на языке теории множеств:

$$H = < I, C1, C2, \ldots., Cn , G >,$$

где I – множество информационных единиц; $C1, C2, \ldots., Cn$ – множество типов связей между информационными единицами; G – множество отображений между информационными единицами.

В зависимости от типов связей между информационными единицами, которые используются в данной модели, различают следующие типы сетей:

– Классифицирующие сети – применяют отношение структуризации.

– Функциональные сети – функциональные отношения между информационными единицами. Примером могут выступать вычислительные модели.

– Сценарии.

В сценариях часто используются казуальные отношения (причинно-следственные отношения) между информационными единицами. Кроме того, могут встречаться отношения следующих типов «средство – результат», «орудие – действие» и т. п.

Так семантическая сеть, представляющая знания об автомобиле гр. Васильева, показана на рис. 6.

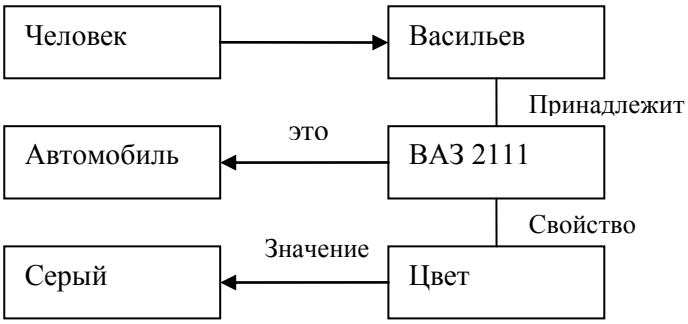


Рис. 6. Пример семантической сети

Преимущества модели представления знаний на основе семантических сетей: с помощью этой модели могут быть представлены родовидовые отношения; простота и наглядность описания предметной области.

Недостатки модели представления знаний на основе семантических сетей: снижение скорости работы механизма вывода, а также понижение быстродействия.

Фреймовые модели. Фреймы часто используют как структуру для представления стереотипных ситуаций. Фрейм – единица представления знаний, детали которой могут изменяться в соответствии с текущей ситуацией.

Структура фрейма такова, что он состоит из характеристик описанных ситуаций и их значений, которые называются соотносительно слотом и заполнителем слота.

Имя фрейма:

Имя слота 1 (Значение слота 1);

Имя слота 2 (Значение слота 2);

……

Имя слота *k* (Значение слота *k*).

Эта структура, пока она не заполнена какими-то значениями, называется протофреймом. Значением слота может быть число, математическое выражение, текст на естественном языке, программа для ЭВМ, правила вывода, ссылки на другие слоты данного фрейма или других фреймов.

При заполнении фрейма, имени слота и значения слотов из протофрейма получают фрейм-экземпляр (экзофрейм).

Пример:

Список работников: Фамилия (значение слота 1);
Год рождения (значение слота 2);
……
Стаж работы (значение слота k).

Список работников: Фамилия (Попов – Сидоров – Иванов);
Год рождения (1965 – 1946 – 1925);
…….
Стаж работы (5 – 20 – 30).

Преимущество фреймовой модели заключается в том, что значения слотов представляются в такой системе в единственном экземпляре, поскольку включается только в один фрейм. Таким образом, обеспечивается экономное размещение баз знаний в памяти компьютера.

Недостатком фреймовой модели является снижение скорости работы механизма вывода, т. е. системы должны «просканировать» всю структуру на предмет ненужной информации.

Продукционные модели. Психологические исследования процессов принятия человеком решений показали, что, рассуждая и принимая решения человек, использует правила, аналогичные продукциям. Продукционная модель, основанная на правилах, позволяет представить знания в виде предложений типа «если (условие), то (действие)».

В общем случае продукцию можно представить в виде следующего выражения:

$$(i);\ Q;\ P;\ A => B;\ N,$$

где (i) – имя продукции, с помощью которой данная продукция выделяется из всего множества (порядковый номер, некоторая совокупность слов или цифр).

Элемент Q характеризует сферу применения продукции.

Основным элементом продукции является ее ядро $A => B$. Оно может быть прочитано: если выполняется A, то следует B. Ядро продукции описывает преобразования, которые представляют суть продукционного правила.

Элемент P есть условие применимости ядра продукции. Обычно P представляет собой логическое выражение типа предиката. Если P принимает значение «истина», то ядро продукции активируется, если P ложно, то ядро продукции не может быть использовано.

Элемент N описывает постусловие продукции. Оно активируется, когда ядро продукции реализовано. N – это действия и условия процедуры, которые могут быть выполнены после P.

Таким образом, продукционная модель хорошо применима для представления процедурных знаний.

Имя продукции i – интерпретация результатов психологического тестирования.

Предусловие Q – использовать в первую очередь.

Условие P – шкала лжи $L < 70$.

Ядро $A => B$ – если (шкала ошибок – шкала коррекции) < - 11, то сообщение: «Результаты недостоверны».

Постусловие N – закончить интерпретацию результатов.

Все ядра можно разделить на 2 большие группы:

1. Детерминированные ($A=>B$ наступит с вероятностью 1).
2. Недетерминированные (если A выполняется, то возможно B).

Возможны различные оценки реализации ядра:

1. Вероятностная (если выполняется A, то с вероятностью P реализуется B).

2. Лингвистическая (малая, меньшая). Если выполняется *A*, то с большой долей уверенности наступит *B*.

Детерминированные продукции могут быть:

1. Однозначными (если выполняется *A*, то наступит *B*).

2. Альтернативные (если *A* выполняется, то чаще наступит *B*1, реже *B*2).

Продукции могут быть прогнозирующего типа (если наступит *A*, то с вероятностью *P* можно ожидать *B*).

Продукционной называется система знаний, которая использует понятие продукции в качестве основного элемента.

В общем случае продукционная система знаний (см. рис. 1) включает следующие компоненты:

1. Базу данных, содержащую множество фактов;
2. Базу правил, содержащую набор продукций;
3. Механизм логического вывода или решатель;
4. ЭВМ;
5. Система общения с внешней средой.

Продукционные системы делят на 2 типа*:*

1. С прямым выводом, т. е. рассуждения, идут от данных к гипотезе.
2. С обратным выводом, когда вначале выдвигается гипотеза, а потом для нее ищутся доказательства.

Достоинства продукционных систем:

– модульность;
– единообразие структуры (позволяет применять оболочку продукционных систем в различных проблемных областях);
– естественность вывода знаний;
– гибкость родовидовой иерархии понятий (изменение правил влечет изменения в иерархии).

Недостатки продукционных систем:

– процесс вывода может быть менее эффективен, чем в других системах.
– процесс вывода новых знаний трудно поддается управлению.
– линейный рост объема базы знаний по мере включения новых фрагментов знаний. Если используются деревья решений, то изменения происходят по логарифмическому закону.

Другие методы представления знаний. В качестве других методов представления знаний можно указать представление знаний по примерам. При использовании такого метода база знаний заполняется следующим образом: инженер по знаниям берет задачу и заполняет матрица из совокупности задач и правильных решений. Можно построить программу с поиском аналогичной задачи (метод на основе примеров).

Такой метод применяется, например, в области медицины и в юридической практике.

Достоинством метода представления знаний по примерам является простота данного способа, т. е. для данной задачи находится метод и вносится в память.

К недостатку можно отнести отсутствие интеллектуальной гибкости.

Выводы

Центральная парадигма интеллектуальных технологий – это обработка знаний. Системы, ядром которых является база знаний или модель предметной области, описанная на языке сверхвысокого уровня, приближенном к естественному языку, называют интеллектуальными.

В связи с организацией базы знаний в информационной системе, возникли задачи по поиску оптимального и верного решения на поставленную задачу перед информационной системой. Таким образом, неструктурированную массу знаний нужно было представить в такой форме, которая позволяла бы найти оптимальное решение с наименьшими затратами, например, временными. И начиная со второй половины 20-го века в области искусственного интеллекта стали появляться различные методы представления знаний.

Рассмотренные модели представления знаний широко используются в современных интеллектуальных системах и прежде всего в экспертных системах. Каждая из форм представлений знаний может служить основой для создания языка программирования, ориентированного на работу со знаниями. В конце 80-х годов наметилась тенденция создавать комбинированные языки представления знаний. Чаще всего комбинируются фреймовые и продукционные модели.

Контрольные вопросы

1. Определение системы знаний для задач создания интеллектуальных систем.
2. Требования к системам знаний в задачах создания интеллектуальных систем.
3. Особенности знаний для их представления в компьютере.
4. Понятие инженерии знаний и баз знаний.
5. Понятие и сравнительные характеристики основных моделей представления знаний.
6. Модели представления знаний, основанные на логике предикатов, их преимущества и недостатки, области применения.
7. Семантические сети: понятие и их роль для формализации знаний.
8. Фрейм как жесткая структура информационных единиц для представления стереотипных ситуаций, достоинства и недостатки фреймовых систем.
9. Сценарии – описание стандартной последовательности фактов, определяющих типичную ситуацию предметной области.
10. Определение продукции, классификация ядер продукции, типовая схема продукционной системы (база данных, база правил, интерпретатор). Преимущества и недостатки продукционной системы.

Глава. 3. ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗНАНИЙ ИЗ ДАННЫХ МЕТОДАМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

3.1. Особенности и классификация методов интеллектуального анализа данных

Потоки текстовой и числовой информации ежедневно порождаются и оседают в хранилищах данных. Закономерности, которые скрываются в этих массивах данных, могут представлять большую ценность.

С другой стороны в связи с высокой трудоемкостью извлечения знаний по обычной технологии инженерии знаний, в последнее время интенсивно разрабатывались методы автоматического извлечения знаний из накопленных фактов. В основе этих методов лежат известные из логики методы индуктивного вывода и ряд методов распознавания образов. В западной литературе эти методы получили название ***«раскопка данных и открытие знаний» – Data Mining (DM)*** и ***Knowledge Discovery in Databases (KDD)***. В отечественной литературе привился термин «Интеллектуальный анализ данных» (ИАД) [8, 19-21].

Процесс Knowledge Discovery in Databases, состоит из следующих шагов:

1. **Подготовка исходного набора данных.** Этот этап заключается в создании набора данных, в том числе из различных источников, выбора обучающей выборки и т. д. Для этого должны существовать развитые инструменты доступа к различным источникам данных. Желательно иметь поддержку работы с хранилищами данных и наличие семантического слоя, позволяющего использовать для подготовки исходных данных не технические термины, а бизнес понятия.

2. **Предобработка данных.** Для того чтобы эффективно применять методы Data Mining, следует обратить внимание на вопросы предобработки данных. Данные могут содержать пропуски, шумы, аномальные значения и т. д. Кроме того, данные могут быть избыточны, недостаточны и т. д. В некоторых задачах требуется дополнить данные некоторой априорной информацией. Наивно предполагать, что если подать данные на вход системы в существующем виде, то на выходе получим полезные знания. Данные должны быть качественны и корректны с точки зрения используемого метода DM. Поэтому первый этап KDD заключается в предобработке данных. Более того, иногда размерность исходного пространства может быть очень большой, и тогда желательно применять специальные алгоритмы понижения размерности. Это как отбор значимых признаков, так и отображение данных в пространство меньшей размерности.

3. **Трансформация, нормализация данных.** Этот шаг необходим для приведения информации к пригодному для последующего анализа виду. Для чего нужно проделать такие операции, как приведение типов, квантование, приведение к «скользящему окну» и прочее. Кроме того, некоторые методы анализа, которые требуют, чтобы исходные данные были в каком-то определенном виде. Нейронные сети, скажем, работают только с числовыми данными, причем они должны быть нормализованы.

4. **Data Mining.** На этом шаге применяются различные алгоритмы для нахождения знаний. Это нейронные сети, деревья решений, алгоритмы кластеризации, установления ассоциаций и т. д.

5. **Постобработка данных.** Интерпретация результатов и применение полученных знаний в бизнес приложениях.

Безусловно, сердцем всего этого процесса KDD являются методы DM, позволяющие обнаруживать знания.

Классической основой извлечения знаний из накопленных данных является математическая статистика. Методы математической статистики оказались полезными, главным образом, для проверки заранее сформулированных гипотез и для «грубого» разведочного анализа, составляющего основу оперативной аналитической обработки данных.

Интеллектуальный анализ данных *— это процесс поддержки принятия решений, основанный на поиске в данных скрытых закономерностей, то есть извлечения информации, которая может быть охарактеризована как* ***знания.***

Интеллектуальный анализ данных является кратким обозначением довольно широкого спектра процедур автоматического анализа данных высокоинтеллектуальными технологиями. Эти методы позволяют извлекать из «сырых» данных ранее неизвестные зависимости между параметрами объектов и закономерности поведения классов объектов. Подобные программные продукты позволяют как бы «осмыслить» данные, оценивая их как с количественной, так и с качественной точки зрения.

Сферы применения систем Data Mining, задачи и стадии ИАД приведены в параграфе 1.4 данного пособия. Далее предлагается изложение основных методов ИАД, примеры их программной реализации для различных предметных областей в соответствии с [8, 19-21, 27].

В последнее время наряду с использованием арсенала классической статистики активно развиваются новые методы анализа данных и извлечения знаний, базирующиеся на иных, нежели традиционная интегро–дифференциальная парадигма, подходах и представленные на рис. 7:

– методы эволюционного моделирования,
– методы машинного обучения.

Термин «эволюционное моделирование» в настоящее время является достаточно устоявшимся, и общепринято под этим термином подразумевать генетические алгоритмы и искусственные нейронные сети.

Термин «машинное обучение» оставляет больше возможностей для дискуссий о том, какие методы имеются в виду, в частности, сюда относятся деревья решений.

Сформированы методологии анализа и основных принципов работы с данными в процессе анализа данных, поиска закономерностей и извлечения знаний не зависит от конкретной предметной области, поэтому может с успехом применяться для решения самого широкого спектра задач.



Рис.7. Классификация методов анализа данных

Алгоритмы, используемые в Data Mining, требуют большого количества вычислений. Раньше это являлось сдерживающим фактором широкого практического применения DM, однако сегодняшний рост производительности современных процессоров снял остроту этой проблемы. Теперь за приемлемое время можно провести качественный анализ сотен тысяч и миллионов записей.

Далее будут рассмотрены ряд методов интеллектуального анализа данных из числа приведенных на рис. 7. Приводится краткое изложение основных положений из статей Н.Б. Паклина и др., изложенных на сайте компании Base Group Labs – профессионального поставщика программных продуктов и решений в области анализа данных [27].

3.2. Логистическая регрессия и ROC-анализ данных

Логистическая регрессия – полезный классический инструмент для решения задачи регрессии и классификации. Без логистической регрессии и ROC-анализа, как аппарата для анализа качества моделей, немыслимо построение моделей в медицине и проведение клинических исследований. В последние годы логистическая регрессия получила распространение в скоринге для расчета рейтинга заемщиков и управления кредитными рисками. Поэтому, несмотря на

свое происхождение из статистики, логистическую регрессию и ROC-анализ почти всегда можно увидеть в наборе Data Mining алгоритмов.

Логистическая регрессия – это разновидность множественной регрессии, общее назначение которой состоит в анализе связи между несколькими независимыми переменными (называемыми также регрессорами или предикторами) и зависимой переменной. Бинарная логистическая регрессия, как следует из названия, применяется в случае, когда зависимая переменная является бинарной (т. е. может принимать только два значения). Иными словами, с помощью логистической регрессии можно оценивать вероятность того, что событие наступит для конкретного испытуемого (больной/здоровый, возврат кредита/дефолт и т. д.).

В множественной линейной регрессии предполагается, что зависимая переменная y является линейной функцией независимых переменных x_i, $i = 1, \ldots n$, т. е.:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \ldots b_nx_n.$$

Однако множественная регрессия просто игнорирует ограничения на диапазон значений для y. Поэтому для решения проблемы задача регрессии может быть сформулирована иначе: вместо предсказания бинарной переменной, мы предсказываем непрерывную переменную P со значениями на отрезке [0,1] при любых значениях независимых переменных. Это достигается применением следующего регрессионного уравнения (логит-преобразование):

$$P = 1/(1 + e^{-y}),$$

где P – вероятность того, что произойдет интересующее событие.

Поскольку логистическое преобразование решает проблему об ограничении на 0-1 границы для первоначальной зависимой переменной (вероятности), то эти преобразованные значения можно использовать в обычном линейном регрессионном уравнении. А именно, если произвести логистическое преобразование обеих частей описанного выше уравнения, мы получим стандартную модель линейной регрессии.

Существует несколько способов нахождения коэффициентов логистической регрессии. На практике часто используют метод максимального правдоподобия. Он применяется в статистике для получения оценок параметров генеральной совокупности по данным выборки. Основу метода составляет функция правдоподобия (likehood function), выражающая плотность вероятности (вероятность) совместного появления результатов выборки y.

Кроме того известно, что логистическую регрессию можно представить в виде однослойной нейронной сети с сигмоидальной функцией активации, веса которой есть коэффициенты логистической регрессии, а вес поляризации – константа регрессионного уравнения. Как известно, однослойная нейронная сеть может успешно решить лишь задачу линейной сепарации. Поэтому возможности по моделированию нелинейных зависимостей у логистической регрессии отсутствуют. Однако для оценки качества модели логистической регрессии су-

ществует эффективный инструмент ROC-анализа, что является несомненным ее преимуществом.

Для расчета коэффициентов логистической регрессии можно применять любые градиентные методы: метод сопряженных градиентов, методы переменной метрики и другие.

ROC-кривая (Receiver Operator Characteristic) – кривая, которая наиболее часто используется для представления результатов бинарной классификации в машинном обучении. Название пришло из систем обработки сигналов. Поскольку классов два, один из них называется классом с положительными исходами, второй – с отрицательными исходами. ROC-кривая показывает зависимость количества верно классифицированных положительных примеров от количества неверно классифицированных отрицательных примеров. В терминологии ROC-анализа первые называются истинно положительным, вторые – ложно отрицательным множеством. При этом предполагается, что у классификатора имеется некоторый параметр, варьируя который, мы будем получать то или иное разбиение на два класса. Этот параметр часто называют порогом, или точкой отсечения (cut-off value). В зависимости от него будут получаться различные величины *ошибок I и II рода*.

В логистической регрессии порог отсечения изменяется от 0 до 1 – это и есть расчетное значение уравнения регрессии. Будем называть его рейтингом.

Для понимания сути ошибок I и II рода рассмотрим четырехпольную таблицу сопряженности (confusion matrix), которая строится на основе результатов классификации моделью и фактической (объективной) принадлежностью примеров к классам. Таблица содержит следующие данные:

- *TP* (*True Positives*) – верно классифицированные положительные примеры (так называемые истинно положительные случаи);
- *TN* (*True Negatives*) – верно классифицированные отрицательные примеры (истинно отрицательные случаи);
- *FN* (*False Negatives*) – положительные примеры, классифицированные как отрицательные (ошибка I рода). Это так называемый ложный пропуск – когда интересующее нас событие ошибочно не обнаруживается (ложно отрицательные примеры);
- *FP* (*False Positives*) – отрицательные примеры, классифицированные как положительные (ошибка II рода). Это ложное обнаружение, т. к. при отсутствии события ошибочно выносится решение о его присутствии (ложно положительные случаи).

Что является положительным событием, а что – отрицательным, зависит от конкретной задачи.

Вводят два определения: чувствительность и специфичность модели. Ими определяется объективная ценность любого бинарного классификатора.

Чувствительность *Se* (Sensitivity) – это и есть доля истинно положительных случаев:

$$Se = TP / (TP + TN).$$

Специфичность *Sp* (Specificity) – доля истинно отрицательных случаев, которые были правильно идентифицированы моделью:

$$Sp = TN / (TN + FP).$$

ROC-кривая получается следующим образом:

1. Для каждого значения порога отсечения, которое меняется от 0 до 1 с шагом *dx* (например, 0.01) рассчитываются значения чувствительности *Se* и специфичности *Sp*. В качестве альтернативы порогом может являться каждое последующее значение примера в выборке.

2. Строится график зависимости: по оси *Y* откладывается чувствительность *Se* в процентах, по оси *X* откладывают (100% - *Sp*) (сто процентов минус специфичность), или, что тоже самое, *FPR* – доля ложно положительных случаев. Пример графиков приведен на рис.8.

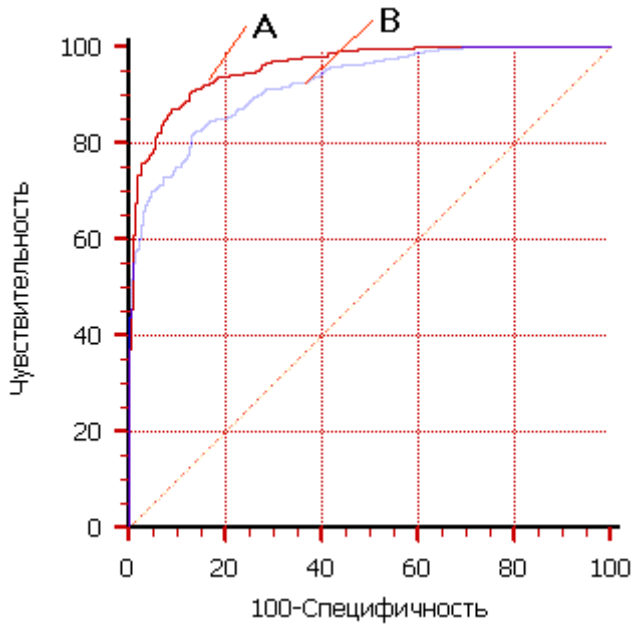


Рис. 8. – Сравнение ROC-кривых

Для идеального классификатора график ROC-кривой проходит через верхний левый угол, где доля истинно положительных случаев составляет 100% или 1.0 (идеальная чувствительность), а доля ложно положительных примеров равна нулю. Поэтому чем ближе кривая к верхнему левому углу, тем выше предсказательная способность модели. Наоборот, чем меньше изгиб кривой и чем ближе она расположена к диагональной прямой, тем менее эффективна модель. Диагональная линия соответствует бесполезному классификатору, т. е. полной неразличимости двух классов.

При визуальной оценке ROC-кривых расположение их относительно друг друга указывает на их сравнительную эффективность. Кривая, расположенная выше и левее, свидетельствует о большей предсказательной способности модели. Так, на рис. 8 две ROC-кривые совмещены на одном графике. Видно, что модель А лучше.

Идеальная модель обладает 100% чувствительностью и специфичностью. Однако на практике добиться этого невозможно, более того, невозможно одновременно повысить и чувствительность, и специфичность модели. Компромисс находится с помощью порога отсечения, так как пороговое значение влияет на соотношение *Se* и *Sp*. Можно говорить о задаче нахождения *оптимального порога отсечения* (optimal cut-off value).

Порог отсечения нужен для того, чтобы применять модель на практике: относить новые примеры к одному из двух классов. Для определения оптимального порога нужно задать критерий его определения, так как в разных задачах присутствует своя оптимальная стратегия.

3.3. Алгоритмы кластеризации на службе Data Mining

Кластеризация как объединение в группы схожих объектов является одной из фундаментальных задач в области анализа данных и Data Mining. Список прикладных областей, где она применяется, широк: сегментация изображений, маркетинг, борьба с мошенничеством, прогнозирование, анализ текстов и многие другие. Отсюда многообразие синонимов понятию кластер – класс, таксон, сгущение.

На современном этапе кластеризация часто выступает первым шагом при анализе данных.

Очень часто данные, с которыми сталкивается технология Data Mining, имеют следующие важные особенности:

- высокая размерность (тысячи полей) и большой объем (сотни тысяч и миллионы записей) таблиц баз данных и хранилищ данных (сверхбольшие базы данных);
- наборы данных содержат большое количество *числовых* и *категорийных* атрибутов.

Все атрибуты, или признаки объектов делятся на ***числовые*** (numerical) и ***категорийные*** (categorical).

Числовые атрибуты – это такие, которые могут быть упорядочены в пространстве, соответственно категорийные – которое не могут быть упорядочены. Например, атрибут «возраст» – числовой, а «цвет» – категорийный.

Большинство алгоритмов кластеризации предполагают сравнение объектов между собой на основе некоторой ***меры близости*** (сходства). В качестве меры близости для числовых атрибутов очень часто используется *евклидово расстояние*.

Для категорийных атрибутов распространена мера сходства Чекановского-Серенсена и Жаккара.

Можно классифицировать кластерные алгоритмы на ***масштабируемые*** **и** ***немасштабируемые***.

Алгоритм называют масштабируемым (scalable), если при неизменной емкости оперативной памяти с увеличением числа записей в базе данных время его работы растет линейно.

По способу разбиения на кластеры алгоритмы бывают двух типов: ***иерархические и неиерархические***.

Классические **иерархические** алгоритмы работают только с категорийными атрибутами, когда строится полное дерево вложенных кластеров. Здесь распространены агломеративные методы построения иерархий кластеров – в них производится последовательное объединение исходных объектов и соответствующее уменьшение числа кластеров. Иерархические алгоритмы обеспечивают сравнительно высокое качество кластеризации и не требуют предварительного задания количества кластеров.

Неиерархические алгоритмы основаны на оптимизации некоторой целевой функции, определяющей оптимальное в определенном смысле разбиение множества объектов на кластеры. В этой группе популярны алгоритмы семейства k-средних (k-means, fuzzy c-means, Густафсон-Кесселя), которые в качестве целевой функции используют сумму квадратов взвешенных отклонений координат объектов от центров искомых кластеров.

Одним из эффективных считается алгоритм алгоритм обработки транзакционных данных CLOPE, который быстрее и проще в программной реализации.

Под термином *транзакция* здесь понимается некоторый произвольный набор объектов, будь это список ключевых слов статьи, товары, купленные в супермаркете, множество симптомов пациента, характерные фрагменты изображения и так далее.

Задача кластеризации транзакционных данных состоит в получении такого разбиения всего множества транзакций, чтобы похожие транзакции оказались в одном кластере, а отличающиеся друг от друга – в разных кластерах.

В основе **алгоритма кластеризации CLOPE** (англ.: Clustering with sLOPE) лежит идея максимизации глобальной функции стоимости, которая повышает близость транзакций в кластерах при помощи увеличения параметра *кластерной гистограммы*.

Пусть имеется база транзакций D, состоящая из множества транзакций $\{t_1, t_2, ..., t_n\}$. Каждая транзакция есть набор объектов $\{i_1, ..., i_m\}$. Множество кластеров $\{C_1, ..., C_k\}$ есть разбиение множества $\{t_1, t_2, ..., t_n\}$, такое, что $C1 \dots C_k = \{t_1, t_2, ..., t_n\}$ и $C_i <> \wedge C_i\ C_j = 1 <= i, j <= k$. Каждый элемент C_i называется *кластером*, n, m, k – количество транзакций, количество объектов в базе транзакций и число кластеров соответственно.

Каждый кластер C имеет следующие характеристики:

$D(C)$ – множество уникальных объектов; $Occ(i,C)$ – количество вхождений (частота) объекта i в кластер C; $W(C) = |D(C)|$ – ширина кластера; $H(C) = S(C)/W(C)$ – высота кластера, а площадь кластера определяется в виде $S(C) = \sum_{i \in D(C)} Occ(i, C) = \sum_{ti \in C} | ti |$.

Гистограммой кластера C называется графическое изображение его расчетных характеристик: по оси OX откладываются объекты кластера в порядке убывания величины $Occ(i,C)$, а сама величина $Occ(i,C)$ – по оси OY (рис. 9). На рис. 9 $S(C)$, равное 8, соответствует площади прямоугольника, ограниченного

осями координат и пунктирной линией. Очевидно, что чем больше значение *H*, тем более «похожи» две транзакции. Поэтому алгоритм должен выбирать такие разбиения, которые максимизируют *H*.

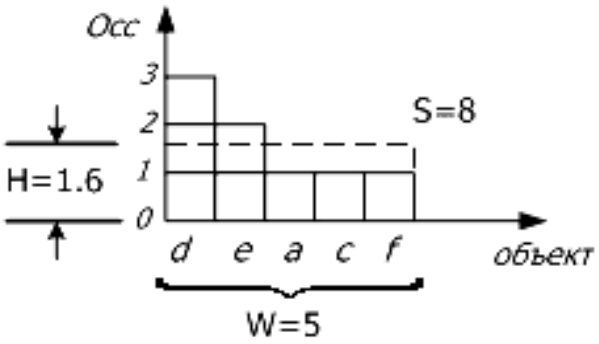


Рис.9. Пример гистограммы кластера

При совпадении значений высот применяют другие более сложные критерии: значение градиента, либо функцию стоимости.

Кластеризация транзакционных данных имеет много общего с анализом ассоциаций. Обе эти технологии Data Mining выявляют скрытые зависимости в наборах данных. Но есть и отличия.

С одной стороны, кластеризация дает общий взгляд на совокупность данных, тогда как ассоциативный анализ находит конкретные зависимости между атрибутами.

С другой стороны, ассоциативные правила сразу пригодны для использования, тогда как кластеризация чаще всего используется как первая стадия анализа.

Преимущества алгоритма CLOPE:

1. Высокие масштабируемость и скорость работы, а также качество кластеризации, что достигается использованием глобального критерия оптимизации на основе максимизации градиента высоты гистограммы кластера. Он легко рассчитывается и интерпретируется. Во время работы алгоритм хранит в RAM небольшое количество информации по каждому кластеру и требует минимальное число сканирований набора данных. Это позволяет применять его для кластеризации огромных объемов категорийных данных.

2. CLOPE автоматически подбирает количество кластеров, причем это регулируется одним единственным параметром – коэффициентом отталкивания в функции стоимости.

3.4. Деревья решений

Деревья решения являются одним из наиболее популярных подходов к решению задач Data Mining. Они создают иерархическую структуру классифицирующих правил типа «ЕСЛИ ..., ТО...», имеющую вид дерева.

Для того чтобы решить, к какому классу отнести некоторый объект или ситуацию, требуется ответить на вопросы, стоящие в узлах этого дерева, начиная с его корня, как показано на рис.10.

Вопросы имеют вид «значение параметра *A* больше *x*». Если ответ положительный, осуществляется переход к правому узлу следующего уровня, если отрицательный – то к левому узлу; затем снова следует вопрос, связанный с соответствующим узлом.

Введем основные понятия из теории деревьев решений, которые будут употребляться далее:

– объект – пример, шаблон, наблюдение;
– атрибут – признак, независимая переменная, свойство;
– метка класса – зависимая переменная, целевая переменная, признак определяющий класс объекта;
– узел – внутренний узел дерева, узел проверки;
– лист – конечный узел дерева, узел решения;
– проверка (test) – условие в узле.

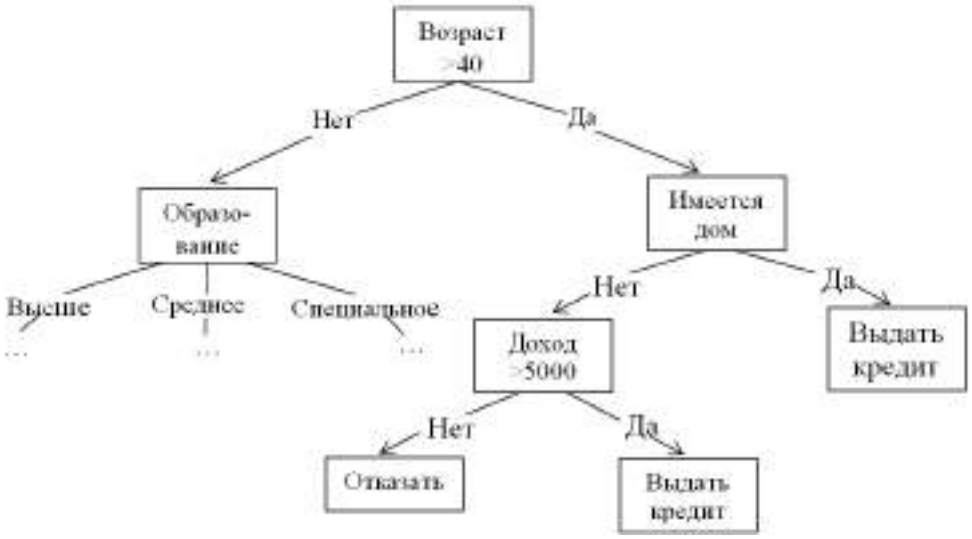


Рис.10. Пример дерева решений

Область применения деревья решений в настоящее время широка, но все задачи, решаемые этим аппаратом могут быть объединены в следующие три класса:

– **Описание данных:** Деревья решений позволяют хранить информацию о данных в компактной форме, вместо них мы можем хранить дерево решений, которое содержит точное описание объектов.
– **Классификация:** Деревья решений отлично справляются с задачами классификации, т. е. отнесения объектов к одному из заранее известных классов. Целевая переменная должна иметь дискретные значения.
– **Регрессия:** Если целевая переменная имеет непрерывные значения, деревья решений позволяют установить зависимость целевой переменной от независимых (входных) переменных. Например, к этому классу относятся задачи численного прогнозирования (предсказания значений целевой переменной).

Пусть нам задано некоторое обучающее множество T, содержащее объекты (примеры), каждый из которых характеризуется m атрибутами (атрибутами), причем один из них указывает на принадлежность объекта к определенному классу.

Пусть через $\{C_1, C_2, ... C_k\}$ обозначены классы(значения метки класса), тогда существуют 3 ситуации:

1. Множество T содержит один или более примеров, относящихся к одному классу C_k. Тогда дерево решений для T – это лист, определяющий класс C_k.
2. Множество T не содержит ни одного примера, т. е. пустое множество. Тогда это снова лист, и класс, ассоциированный с листом, выбирается из другого множества отличного от T, скажем, из множества, ассоциированного с родителем.
3. Множество T содержит примеры, относящиеся к разным классам. В этом случае следует разбить множество T на некоторые подмножества. Для этого выбирается один из признаков, имеющий два и более отличных друг от друга значений $O_1, O_2, ... O_n$. Множество T разбивается на подмножества $T_1, T_2, ... T_n$, где каждое подмножество T_i содержит все примеры, имеющие значение O_i для выбранного признака. Это процедура будет рекурсивно продолжаться до тех пор, пока конечное множество не будет состоять из примеров, относящихся к одному и тому же классу.

Вышеописанная процедура лежит в основе многих современных алгоритмов построения деревьев решений, этот метод известен еще под названием разделения и захвата (divide and conquer). Очевидно, что при использовании данной методики, построение дерева решений будет происходит сверху вниз.

Поскольку все объекты были заранее отнесены к известным нам классам, такой процесс построения дерева решений называется обучением с учителем (supervised learning). Процесс обучения также называют индуктивным обучением или индукцией деревьев (tree induction).

На сегодняшний день существует значительное число алгоритмов, реализующих деревья решений CART, C4.5, NewId, ITrule, CHAID, CN2 и т. д. Но наибольшее распространение и популярность получили следующие два:

- **CART (Classification and Regression Tree)** – это алгоритм построения бинарного дерева решений – дихотомической классификационной модели. Каждый узел дерева при разбиении имеет только двух потомков. Как видно из названия алгоритма, решает задачи классификации и регрессии.
- **C4.5** – алгоритм построения дерева решений, количество потомков у узла не ограничено. Не умеет работать с непрерывным целевым полем, поэтому решает только задачи классификации.

Большинство из известных алгоритмов являются жадными алгоритмами. Если один раз был выбран атрибут, и по нему было произведено разбиение на подмножества, то алгоритм не может вернуться назад и выбрать другой атрибут, который дал бы лучшее разбиение. И поэтому на этапе построения нельзя сказать даст ли выбранный атрибут, в конечном итоге, оптимальное разбиение.

При построении деревьев решений особое внимание уделяется следующим вопросам: выбору критерия атрибута, по которому пойдет разбиение, остановки обучения и отсечения ветвей. Рассмотрим все эти вопросы по порядку.

Правило разбиения. Для построения дерева на каждом внутреннем узле необходимо найти такое условие (проверку), которое бы разбивало множество, ассоциированное с этим узлом на подмножества. В качестве такой проверки должен быть выбран один из атрибутов.

Общее правило для выбора атрибута можно сформулировать следующим образом: выбранный атрибут должен разбить множество так, чтобы получаемые в итоге подмножества состояли из объектов, принадлежащих к одному классу, или были максимально приближены к этому, т. е. количество объектов из других классов (примесей) в каждом из этих множеств было как можно меньше.

Алгоритм C4.5, усовершенствованная версия алгоритма ID3 (Iterative Dichotomizer), использует теоретико-информационный подход.

Алгоритм CART использует так называемый индекс Gini (в честь итальянского экономиста Corrado Gini), который оценивает «расстояние» между распределениями классов.

Правило остановки. В дополнение к основному методу построения деревьев решений были предложены следующие правила:

– Использование статистических методов для оценки целесообразности дальнейшего разбиения, так называемая ранняя остановка (prepruning). В конечном счете ранняя остановка процесса построения привлекательна в плане экономии времени обучения.

– Ограничить глубину дерева. Остановить дальнейшее построение, если разбиение ведет к дереву с глубиной превышающей заданное значение.

– Разбиение должно быть нетривиальным, т. е. получившиеся в результате узлы должны содержать не менее заданного количества примеров.

Правило отсечения. Очень часто алгоритмы построения деревьев решений дают сложные деревья, которые переполнены данными, имеют много узлов и ветвей. Такие ветвистые деревья очень трудно понять. К тому же ветвистое дерево, имеющее много узлов, разбивает обучающее множество на все большее количество подмножеств, состоящих из все меньшего количества объектов. Ценность правила, справедливого скажем для 2-3 объектов, крайне низка, и в целях анализа данных такое правило практически непригодно. Гораздо предпочтительнее иметь дерево, состоящее из малого количества узлов, которым бы соответствовало большое количество объектов из обучающей выборки.

Для решения вышеописанной проблемы часто применяется так называемое отсечение ветвей (prepruning).

Пусть под точностью (распознавания) дерева решений понимается отношение правильно классифицированных объектов при обучении к общему количеству объектов из обучающего множества, а под ошибкой – количество неправильно классифицированных. Предположим, что нам известен способ оценки

ошибки дерева, ветвей и листьев. Тогда, возможно использовать следующее простое правило:

- построить дерево;
- отсечь или заменить поддеревом те ветви, которые не приведут к возрастанию ошибки. Отсечение ветвей происходит снизу вверх, двигаясь с листьев дерева, отмечая узлы как листья, либо заменяя их поддеревом.

Преимущества использования деревьев решений:

- быстрый процесс обучения;
- извлечение правил на естественном языке;
- генерация правил в областях, где эксперту трудно формализовать свои знания;
- интуитивно понятная классификационная модель;
- высокая точность прогноза, сопоставимая с другими методами (статистика, нейронные сети);
- построение непараметрических моделей.

В силу этих и многих других причин, методология деревьев решений является важным инструментом в работе каждого специалиста, занимающегося анализом данных, вне зависимости от того практик он или теоретик.

Деревья решений являются прекрасным инструментом в системах поддержки принятия решений, интеллектуального анализа данных. В состав многих пакетов, предназначенных для интеллектуального анализа данных, уже включены методы построения деревьев решений. В областях, где высока цена ошибки, они послужат отличным подспорьем аналитика или руководителя

Деревья решений успешно применяются для решения практических задач в следующих областях:

- Банковское дело. Оценка кредитоспособности клиентов банка при выдаче кредитов.
- Промышленность. Контроль за качеством продукции (выявление дефектов), испытания без разрушений (например, проверка качества сварки) и т.д.
- Медицина. Диагностика различных заболеваний.
- Молекулярная биология. Анализ строения аминокислот.

Это далеко не полный список областей, где можно использовать деревья решений.

3.5. Классификация программных реализаций систем Data Mining

1. Предметно-ориентированные аналитические пакеты (например, в финансовой области предназначены для предсказания курса валют). Часто основой для таких технологий является несложный статистический аппарат (аппарат прикладной статистики), в наибольшей мере учитывающий специфику рассматриваемой области. Цена таких продуктов меньше $1000, т. е. они недорогие и их много.

2. Статистические пакеты, включающие наряду с традиционными методами математической статистики также элементы Data Mining. Круг задач, ре-

шаемых с помощью статистических пакетов: создание корреляционных моделей; факторный анализ, регрессионный анализ и др.

Достоинства данных методов состоит в том, что они основываются на строгом математическом аппарате.

Недостатки: для их использования требуется специальная математическая подготовка пользователя, а также, принципиальный недостаток пакетов состоит в том, что они опираются на статистическую парадигму и поэтому дают математически усредненный вывод.

Наиболее распространены такие мощные статистические пакеты, как SAS (компания SAS Institute), SPSS (SPSS), Statistica и др. Эти системы достаточно дороги – от $1000 до $15000.

3. Нейросетевые системы. Принцип работы нейронных сетей заключается в следующем: имитируется работа нейронов в составе иерархической сети. При этом сигналы передаются от нижних слоев к верхним, а сила сигнала зависит от сложности связи.

Недостатки:

– необходимо иметь большой объем обучающей выборки;
– результаты работы такого пакета трудно объяснить.

Нейронные сети могут быть реализованы программным или аппаратным способом.

Вариантами аппаратной реализации являются нейрокомпьютеры, нейроплаты и нейроБИС (большие интегральные схемы). Одна из самых простых и дешёвых нейроБИС – модель MD 1220 фирмы Micro Devices, которая реализует сеть с 8 нейронами и 120 синапсами.

Большинство современных нейрокомпьютеров представляют собой персональный компьютер или рабочую станцию, в состав которых входит дополнительная нейроплата. К их числу относятся, например, компьютеры серии FMR фирмы Fujitsu.

К программам, реализующим технологии нейронных сетей относятся: пакет Brain Maker (CSS), NeuroShell (Ward Systems Group) и др. Стоимость таких систем очень высока (более $1000). Пакет Brain Maker используется несколькими тысячами финансовых и промышленных компаний, а также оборонными ведомствами США для решения задач прогнозирования, оптимизации и моделирования ситуаций. К таким задачам относятся прогнозирование курсов валют и акций на биржах, моделирование кризисных ситуаций, распознавание образов и многие другие на основе использования сети Хопфилда с обучением по методу обратного распространения ошибки.

4. Системы рассуждений на основе аналогичных случаев (Case Based Reasoning – CBR) основаны на поиске аналога наличной ситуации. Назначение таких систем: среди БД множества случаев найти тот, который наиболее близок к рассматриваемому.

Недостатки:

– не создается никакой модели (ищем аналогию, но не ищем модель, правило);

– результат зависит от меры близости, которую можно выбрать и достаточно неправильной. Для эффективного решения задач классификации или прогноза необходимо, чтобы был накоплен большой объем данных.

Пример системы, использующей CBR, – Pattern Recognition Workbench (Unica, США).

5. Деревья решений (Decision Tree). Указанная технология используется в том случае, если применимо правило типа «If …,Then …» и она представляет собой процесс мышления, при котором идет логический вывод от корня к ветвям и листьям. Такие переходы понятны и видны графически, т. е. пользователь получает модель, по которой он может сделать выводы о результатах.

Недостаток технологии деревьев решений заключается в том, что трудно найти оптимальное решение, такая система не дает ответа, какое решение следует считать оптимальным.

На использовании технологии деревьев решений работают продукты See5 / C5.0 (компания RuleQuest), KnowledgeSeeker (ANGOSS) и др. Стоимость таких пакетов от $1000.

6. Пакеты на основе алгоритмов ограниченного перебора. Суть работы таких технологий заключается в следующем: алгоритм вычисляет частоты комбинаций простых логических событий в подгруппах данных и на основании вычисленных частот делается вывод о полезности той или иной комбинации. Они определяют логические «If …,Then …» правила и выдают результат. Технология ограниченного перебора используется там, где трудно найти функциональную связь.

Известным представителем этого подхода является продукт WizWhy (фирма WizSoft). Стоимость таких пакетов – около $4000.

7. Генетические алгоритмы. Данная технология представляет собой попытку найти решение путем обращения к генетике. Генетический алгоритм (ГА) – это поисковый алгоритм, основанный на природных механизмах селекции и генетики. Эти алгоритмы обеспечивают выживание сильнейших решений из множества сгенерированных, формируя и изменяя процесс поиска на основе моделирования эволюции исходной популяции решений.

Коммерческое программное обеспечение, реализующее ГА, можно разделить на программные средства общего назначения, прикладные и алгоритмические программные продукты.

Программное обеспечение общего назначения включает разнообразные наборы инструментальных средств для построения конкретных программ, которые содержат библиотеки алгоритмов, программы моделирования, средства визуализации и другие инструменты. Пакеты подобного типа рассчитаны на опытных программистов, требуют знания основ теории эволюционных вычислений и характеризуются высокой трудоёмкостью освоения, которая в значительной мере зависит от квалификации пользователя.

Прикладные программные продукты ориентированы на решение проблем определённого класса в конкретных предметных областях (реинжиниринг, маркетинг, стратегическое планирование и др.). Такие средства не требуют от

пользователя теоретических знаний в области методологии создания интеллектуальных систем. Достаточно, чтобы он был специалистом в своей предметной области.

Алгоритмическое программное обеспечение поддерживает один (или несколько) генетический алгоритм. Преимущества таких программных продуктов – их гибкость и простота использования. При этом пользователям необходимо иметь представление об основах теории ГА.

Система PC/Beagle представляет собой программу поиска решающих правил, классифицирующих примеры из базы данных. Она превращает данные в знания за счёт использования машинного обучения. Один из модулей системы путём репродукции и селекции порождает правила, представленные в виде логических выражений.

Система Evolver реализует шесть методов генетической оптимизации и выполнена в виде расширения MS Excel. Основные области применения пакета – оптимизация доходности с учётом уровня риска и максимизация прибыли с учётом возможных издержек.

Genesis – известный алгоритмический программный продукт, который используется в качестве инструмента тестирования генетических алгоритмов. Он позволяет создать модифицированную программную среду и обеспечивает пользователя статистической информацией на выходе.

Программный продукт общего назначения EnGENEer помогает адаптировать генетические алгоритмы к новым проблемным областям.

Известен пакет GeneHunter фирмы Ward Systems Group, который может использоваться как приложение MS Excel и допускает составление собственных программ на языках C и Visual Basic. Его стоимость – около $1000.

8. Эволюционное программирование. Процесс построения программ строится как эволюции в мире программ. Когда система находит программу, более или менее выражающую искомую зависимость, она начинает вносить в нее небольшие модификации и отбирает среди построенных дочерних программ те, которые повышают точность. Так работает отечественная программная система PolyAnalyst.

Другое направление эволюционного программирования связано с поиском зависимости целевых переменных от остальных в форме функций какого-то определенного вида, например, в форме полиномов. Указанное направление реализовано в системе NeuroShell компании Ward System Group. Стоимость систем до $4000.

9. Аналитические платформы. Аналитические программные комплексы имеют тенденцию совершенствоваться в направлении увеличения количества параметров многомерного анализа и уровня адекватности математического аппарата реальным, многосторонним бизнес-процессам для повышения точности и долгосрочности прогнозирования развития процессов и ситуаций, и их оптимизации в интересах предприятий и организаций. Аналитические программные комплексы должны создаваться с расчетом на слияние с другими интеллектуальными средствами, имитационными математическими моделями, многокри-

териальными системами поддержки принятия решений, системами искусственного интеллекта и др. Только в этом случае возможно образование интегрированных комплексов поддержки принятия оптимальных решений, причем как в интересах достижения стратегических целей, так и в интересах своевременного, достаточно быстрого и адекватного реагирования на изменения внешних условий в процессе управления деятельностью предприятий и организаций.

Разработанный в России компанией BaseGroup Labs программный продукт Deductor является аналитической платформой, т. е. основой для создания законченных прикладных решений на основе решения задач анализа данных. Реализованные в Deductor технологии предоставляет полный набор инструментов и позволяют на базе единой архитектуры пройти все этапы построения аналитической системы: от создания хранилища данных до автоматического подбора моделей и визуализации полученных результатов [21, 27].

Deductor предоставляет аналитикам инструментальные средства, необходимые для решения самых разнообразных аналитических задач: корпоративная отчетность, прогнозирование, сегментация, поиск закономерностей – эти и другие задачи, где применяются такие методики анализа, как OLAP, Knowledge Discovery in Databases и Data Mining. Deductor является идеальной платформой для создания систем поддержки принятия решений.

3.6. Краткое описание применения аналитической платформы Deductor для решения задач интеллектуального анализа данных

Состав платформы Deductor. Система состоит из пяти частей:

– **Studio** – программа, реализующая функции импорта, обработки, визуализации и экспорта данных. Deductor Studio может функционировать и без хранилища данных, получая информацию из любых других источников, но наиболее оптимальным является их совместное использование. В Deductor Studio включен полный набор механизмов, позволяющий получить информацию из произвольного источника данных, провести весь цикл обработки (очистку, трансформацию данных, построение моделей), отобразить полученные результаты наиболее удобным образом (OLAP, диаграммы, деревья и др.) и экспортировать результаты на сторону.

– **Viewer** – рабочее место конечного пользователя. Позволяет отделить процесс построения сценариев от использования уже готовых моделей. Все сложные операции по подготовке сценариев обработки выполняются аналитиками-экспертами при помощи Deductor Studio, а Deductor Viewer обеспечивает пользователям простой способ работы с готовыми результатами, скрывает от них все сложности построения моделей и не предъявляет высоких требований к квалификации сотрудников.

– **Warehouse** – многомерное хранилище данных, аккумулирующее всю необходимую для анализа предметной области информацию. Использование единого хранилища позволяет обеспечить непротиворечивость данных, их централизованное хранение и автоматически обеспечивает всю необходимую поддержку процесса анализа данных.

– **Server** – служба, обеспечивающая удаленную аналитическую обработку данных. Позволяет автоматически обрабатывать данные и переобучать модели на сервере, оптимизирует выполнение сценариев за счет кэширования проектов и использования многопоточной обработки.

– **Client** – клиент доступа к Deductor Server. Обеспечивает доступ к серверу из сторонних приложений и управление его работой.

Реализованная в Deductor архитектура позволяет добиться максимальной гибкости при создании законченного решения. Благодаря данной архитектуре можно собрать в одном аналитическом приложении все необходимые инструменты анализа и реализовать автоматическое выполнение подготовленного сценария. Создание законченного решения занимает очень мало времени. Достаточно получить данные, определить сценарий обработки и задать место для экспорта полученных результатов. Наличие мощного набора механизмов обработки и визуализации позволяет двигаться по шагам, от наиболее простых способов анализа к более мощным. Таким образом, первые результаты пользователь получает практически сразу, но при этом можно легко наращивать мощность решения.

Хранилище данных. Deductor включает в себя кросс-платформенное хранилище Deductor Warehouse – специализированную базу, в которую загружается информация из существующих учетных систем. Оно спроектировано специально для обработки аналитических запросов и включает удобный семантический слой, благодаря которому пользователи в состоянии извлечь любые интересующие их сведения без написания сложных запросов, только оперируя понятными бизнес-терминами.

Deductor поддерживает работу практически с любыми источниками данных: офисные приложения, 1С:Предприятие, популярные СУБД, ERP-, CRM-, BI-системы, текстовые файлы, XML-источники и десятки других. Где бы ни хранилась информация, ее можно будет извлечь, трансформировать к нужному виду и загрузить в хранилище данных.

Интеграция. Для получения аналитической отчетности при помощи Deductor может использоваться информация из десятков источников: хранилища данных, учетные системы, СУБД, файлы и многое другое. Полученные результаты можно просмотреть на экране, передать в офисные приложения (MS Excel, Word, Access), разместить на веб-сайте, загрузить в базу данных.

Простота применения. Для построения аналитического решения на базе платформы Deductor не требуется написания сложного кода. Практически все операции производятся в режиме визуального проектирования, при помощи специальных мастеров, облегчающих работу аналитика, которая отделена от работы конечного пользователя. Аналитик строит при помощи мастеров сценарии, в которых реализована произвольная логика обработки, а конечный пользователь просто выбирает нужный отчет и автоматически получает интересующие данные.

Прогнозирование – одна из самых востребованных, но при этом и самых сложных задач анализа. Качественный прогноз является ключом к решению та-

ких актуальных бизнес-задач, как оптимизация складских запасов и финансовых потоков, бюджетирование, оценка инвестиционной привлекательности и многие другие. Обработчики в Deductor обеспечивают возможность построения прогностических моделей с использованием как простых моделей (по среднему, на основе предыдущих периодов, по жестким правилам), так и мощных самообучающихся алгоритмов (регрессионные модели, нейронные сети, анализ временных рядов).

OLAP-визуализатор. Результаты планирования, моделирования, различные варианты сценарных прогнозов можно просмотреть при помощи множества удобных визуализаторов, в частности с использованием встроенного OLAP-модуля. Он поддерживает весь необходимый для бюджетирования функционал: просмотр в любых срезах, детализация (drill down), сортировки, группировки, множество способов фильтрации.

Анализ отклонений. Одним из важнейших этапов работы системы бюджетирования является выявление отклонений и анализ причин их возникновения. Deductor включает мощные Data Mining алгоритмы, позволяющие не только найти аномалии, отклонения, противоречия, но и проанализировать что привело к такому результату, выявить влияние на аномалии множества факторов, найти причинно-следственные связи.

Версии платформы. Существует три версии этой платформы. Версия *Enterprise* предназначена для корпоративного использования. В ней присутствуют:

– серверные компоненты Deductor Server и Deductor Client;
– интерфейс доступа к Deductor через механизм OLE Automation;
– традиционное хранилище данных Deductor Warehouse на трех СУБД: Firebird, MS SQL, Oracle;
– виртуальное хранилище данных Deductor Virtual Warehouse.

Версия *Professional* предназначена для небольших компаний и однопользовательской работы. В ней отсутствуют серверные компоненты, поддержка OLE, виртуальное хранилище, а традиционное хранилище данных можно создавать только на СУБД Firebird.

Версия *Academic* предназначена для образовательных и обучающих целей. Ее функционал аналогичен версии Professional за исключением того, что отсутствуют пакетный запуск сценариев, т. е. работа в программе может вестись только в интерактивном режиме, а также нет импорта из промышленных источников данных: 1С, СУБД, файлы MS Excel, Deductor Data File.

Реализованные технологии Data Mining:

– задача ассоциации на основе алгоритма Apriori;
– задача кластеризации на основе сетей и карт Кохонена, а также алгоритмов k-means и G-means;
– задача классификации и регрессии на основе линейной и логистической регрессии, деревьев решений (алгоритм C 4.5), многослойного персептрона (алгоритмы BProp, RProp);

– анализ и прогнозирование временных рядов на основе регрессионных и нейросетевых моделей;

– сравнение моделей на основе ROC-анализа.

В Deductor Studio вся работа ведется с использованием пяти мастеров.

Для создания сценариев обработки данных используются *мастера импорта*, *обработки* и *экспорта*. Для настройки подключений к источникам данных используется *мастер подключений*. *Мастер визуализации* настраивает визуализаторы для конкретного узла.

Подробное изложение системы Deductor изложено в работах Н.Б. Паклина и других разработчиков и исследователей в [21, 27]. Учебные примеры применения платформы содержатся также в пособиях [22, 23].

Сопоставление Deductor со известными специализированными продуктами других производителей. По производительности работа Warehouse на Oracle, SQL и Firebird при более-менее активном лазании в Хранилище (закачка транзакций и какой-то дополнительной информации, а также постоянное ее использование для прогнозирования порядка 30000-40000 временных рядов в месяц и сохранение прогнозов) отличается существенно, при больших объемах раз в 10-20. При грамотной оптимизации можно добиться еще большей разницы в скорости. Это связано с тем, что тяжелые базы сами по себе работают быстрее (точнее могут больше выжать из оборудования), но не только. Дело в том, что у Oracle и MS SQL есть нестандартные опции, позволяющие загружать данные пачками, извлекать большими кусками и прочее. Кроме того, поддерживается размещение в различные табличные пространства и прочее. При небольших объемах (база до гигабайта) разницы в производительности у указанных баз данных и Deductor 5 почти нет [27]. В Deductor 5 есть алгоритмы для построение прогнозных моделей. Так что теоретических проблем нет, а вот насчет качества – это уже вопрос обучения, данных и прочее. Для работы нужен Deductor Studio. Даже бесплатная версия Deductor Academic может обрабатывать выборки объемом в несколько миллионов записей без особых проблем.

Выводы

Технологии извлечения знаний из хранилищ данных основаны на методах статистического анализа и моделирования, ориентированных на поиск моделей и отношений, скрытых в совокупности данных. Эти модели могут в дальнейшем использоваться для оптимизации деятельности предприятия или фирмы.

Для извлечения значимой информации из хранилищ данных имеются специальные методы (OLAP-анализа, Data Mining или Knowledge Discovery), основанные на применении методов математической статистики, нейронных сетей, индуктивных методов построения деревьев решений и др.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные шаги процедур Knowledge Discovery in Databases при работе с данными в процессе анализа данных?

2. Перечислите основные методы из арсенала математической статистики, применяемые при анализе данных.

3. Перечислите и кратко охарактеризуйте основные методы из арсенала эволюционного моделирования, применяемые для интеллектуального анализе данных.

4. Перечислите и кратко охарактеризуйте основные методы из арсенала машинного обучения, применяемые для интеллектуального анализе данных.

5. Дайте определение бинарной логистической регрессии, логит-преобразования, определение ROC-кривой для представления результатов бинарной классификации в машинном обучении.

6. Какова процедура построения и визуальной оценки ROC-кривых для представления результатов бинарной классификации и прогноза?

7. Каковы особенности алгоритмов кластеризации наборов данных, содержащих большое количество числовых и категорийных атрибутов?

8. В чем смысл задачи кластеризации транзакционных данных?

9. Какие процедуры содержит алгоритм кластеризации транзакционных данных CLOPE?

10. Каковы преимущества алгоритма кластеризации транзакционных данных CLOPE?

11. Каковы основные понятия из теории деревьев решений используются при решении задач Data Mining?

12. Каковы области применения деревья решений при решении задач Data Mining?

13. Какие процедуры лежит в основе многих современных алгоритмов построения деревьев решений?

14. Каковы особенности алгоритмов CART и C4.5, реализующих деревья решений?

15. Выбор критерия атрибута, по которому пойдет разбиение, остановка обучения и отсечение ветвей деревьев решений.

16. Перечислите и кратко охарактеризуйте виды программных реализаций систем Data Mining.

17. Каковы параметры алгоритма конструирования классификатора в программе See5?

18. Как преобразовать полученное дерево решений в набор правил If…Then?

19. Как можно уменьшить ошибки классификации в программе See5?

20. Какой алгоритм положен в основу работы программы WizWhy для поиска логических правил в данных?

21. Какие параметры следует задать для работы процедуры поиска правил и какие отчеты готовит система WizWhy?

22. Каков перечень решаемых задач и состав аналитической платформы Deductor 5?

23. В чем заключена новизна взгляда на данные при применении аналитической платформы Deductor?

24. Какой объем выборки данных может обрабатывать и какие задачи может решать демоверсия Deductor 5?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В сферу приложений искусственного интеллекта в настоящее время вошли практически все направления современной информатики. Многие из этих направлений, таких как вопросы создания экспертных систем, искусственных нейросетей и др., в достаточной мере освещены в учебной и методической литературе. Поэтому я не ставил перед собой цель «объять необъятное», а включил в текст лекций как разделы, содержащие описание традиционных моделей знаний, понятий, определений и типов интеллектуальных систем, так и новый перспективный подход к решению проблем интеллектуальной обработки накопленных массивов данных.

При написании пособия автор видел свою цель в том, чтобы познакомить студентов с принципами создания и функционирования интеллектуальных информационных систем. Практический опыт показывает, что люди, не знакомые с этими принципами, испытывают большие трудности, выступая в роли пользователей интеллектуального программного обеспечения.

С учетом динамичного развития современной области ИИ текст лекций является лишь введением в огромную и интересную область знаний. Слушатели, заинтересовавшиеся работами в этом перспективном научном направлении и вопросами практического применения методов ИИ в решении сложных задач управления, имеют прекрасную возможность самостоятельно продолжить изучение этой тематики. Огромный мир Интернета позволяет получить быстрый доступ к самой различной информации по тематике создания и применения интеллектуальных систем и технологий, к имеющейся обширной библиографии, углубленным теоретическим и практическим курсам по систематическому освещению многих вопросов, относящихся к области ИИ и ИС. Многие перспективные направления ИИ, ИС в работе лишь упомянуты, или приведены в качестве примеров развития возможных теоретических направлений и практических применений.

Автор надеется, что знания, полученные при изучении данной книги, помогут читателю решать практические примеры при самостоятельном освоении технологии и продуктов Data Mining, а также позволят расширить кругозор в области интеллектуальных информационных систем и технологий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Искусственный интеллект: справочник. В 3 кн. Кн. 1: Системы общения и экспертные системы / под ред. Э.В. Попова. – М.: Радио и связь, 1990. – 461 с.
2. Искусственный интеллект: справочник. В 3 кн. Кн. 2: Модели и методы / под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.
3. Искусственный интеллект: справочник. В 3 кн. Кн. 3: Программные и аппаратные средства / под ред. В.Н. Захарова и В.Ф. Хорошевского. – М.: Радио и связь, 1990. – 320 с.
4. Коршунов, Ю.М. Математические основы кибернетики: учебное пособие для вузов / Ю.М. Коршунов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 496 с.
5. Острейковский, В.А. Информатика: учебник для вузов / В.А. Острейковский. – М.: Высшая школа, 2009. – 510 с.
6. Тельнов, Ю.Ф. Интеллектуальные информационные системы: учебное пособие / Ю.Ф. Тельнов. – М.: Московский международный институт эконометрики, информатики, финансов и права, 2002. – 118 с.
7. Интеллектуальные информационные системы и технологии: учебное пособие / Ю.Ю. Громов, О.Г. Иванова, В.В. Алексеев и др. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2013. – 244 с.
8. Дюк, В. Data Mining: учебный курс / В. Дюк, А. Самойленко. – СПб.: Питер, 2001. – 366 с.
9. Попов, Э.В Статические и динамические экспертные системы / Э.В. Попов, И.Б. Фоминых, Е.Б. Кисель и др. – М.: Финансы и статистика, 1997. – 310 с.
10. Логиновский, О.В. Управление и стратегии: учебное пособие / О.В. Логиновский. – Оренбург: Изд-во ОГУ; Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 704 с.
11. Луценко, Е.В. Интеллектуальные информационные системы: учебное пособие для студентов специальности 230400 «Информационные системы и технологии» / Е.В. Луценко. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – 645 с.
12. Гаврилова, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем: учебное пособие для вузов / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 382 с.
13. Романов, В.П. Интеллектуальные информационные системы в экономике: учебное пособие для вузов по специальности «Прикладная информатика» и другим междисциплинарным специальностям / под общ. ред. Н.П. Тихомирова. – М.: Экзамен, 2003. – 494 с.
14. Макаренко, С.И. Интеллектуальные информационные системы: учебное пособие / С.И. Макаренко. – Ставрополь: СФ МГГУ, 2009. – 206 с.
15. Таунсенд, К. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ / К. Таунсенд, Д. Фохт; пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 356 с.
16. Программные средства интеллектуальных систем / А.Е. Городецкий. – СПб.: Изд. СПбГТУ, 2000. – 316 с.

17. Бессмертный, И.А. Искусственный интеллект: учебное пособие / И.А. Бессмертный.– СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. – 132 с.
18. Барыкин, С.Г. Системы искусственного интеллекта: учебное пособие / С.Г. Барыкин, Н.В. Плотникова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004 – 85 с.
19. Барсегян, А.А. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP: учебное пособие для специальности «Информационные системы» / А.А. Барсегян. – СПб.: БХВ Петербург, 2007. – 376 с.
20. Кацко, И.А. Практикум по анализу данных на компьютере: учебное пособие / И.А. Кацко, Н.Б. Паклин. – М.: КолосС, 2009.– 278 с.
21. Паклин, Н.Б. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям: учебное пособие / Н.Б. Паклин, В.И. Орешков. – СПб.: Питер, 2013. – 704 с.
22. Поллак, Г.А. Современные технологии анализа информации: учебное пособие / Г.А. Поллак. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013 – 115 с.
23. Поллак, Г.А. Современные технологии анализа информации: учебное пособие к практическим работам / Г.А. Поллак. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013 – 99 с.
24. Чинакал, В.О. Интеллектуальные системы и технологии: учебное пособие / В.О. Чинакал. – М.: РУДН, 2008. – 303 с.
25. Коровин, А.М. Управление знаниями на основе ИТ-технологий: текст лекций / А.М. Коровин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 48 с.
26. http://www.ipu.ru/labs/lab51/projects.html.
27. http://www.basegroup.ru/deductor/
28. http://www.rulequest.com/
29. http://www.interface.ru/sysmod/
30. http://www.bipartner.ru/services/dm.html.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……...…… 3
Глава 1. ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНОЛОГИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ
1.1. История исследований и основные понятия в области искусственного интеллекта..... 5
1.2. Основные направления исследований в области интеллектуальных систем …….. 8
1.3. Основные признаки и отличия интеллектуальных систем……. 10
1.4. Основные типы интеллектуальных систем……..…. 13
Глава 2. МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ
2.1. Представление знаний, рассуждений и задач…….…….. 28
2.2. Модели представления знаний……... 30
Глава 3. ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗНАНИЙ ИЗ ДАННЫХ МЕТОДАМИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ
3.1. Особенности и классификация методов интеллектуального анализа данных …….. 36
3.2. Логистическая регрессия и ROC-анализ данных…… 38
3.3. Алгоритмы кластеризации на службе Data Mining ……. 42
3.4. Деревья решений…….. 44
3.5. Классификация программных реализаций систем Data Mining……. 48
3.6. Краткое описание применения аналитической платформы Deductor для решения задач интеллектуального анализа данных……... 52
ЗАКЛЮЧЕНИЕ…….…….…..... 57
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК……..... 58

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А.Упоров

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Б1.В.10 ПРОМЫШЛЕННЫЕ МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

Направление -
15.03.06 Мехатроника и робототехника
Профиль -
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Волков Е. Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

Лабораторная работа №1

Изучение режимов работы робота–штабелера

Цель работы:

Ознакомиться с типами управления и изучить режимы работы робота–штабелера используя «сокращенный» и «расширенный» функционал управления роботом.

Теоретическая часть:

Интерфейс управления роботом–штабелером может отображаться в двух различных видах: «сокращенный» и «расширенный». Вне зависимости от режима отображения робот–штабелер может управляться в тремя способами:

1. Ручное управление, которое осуществляется путем перемещения оператором «ползунков», задающих значения координат, и нажатия кнопки перемещений (рисунок 1.1).

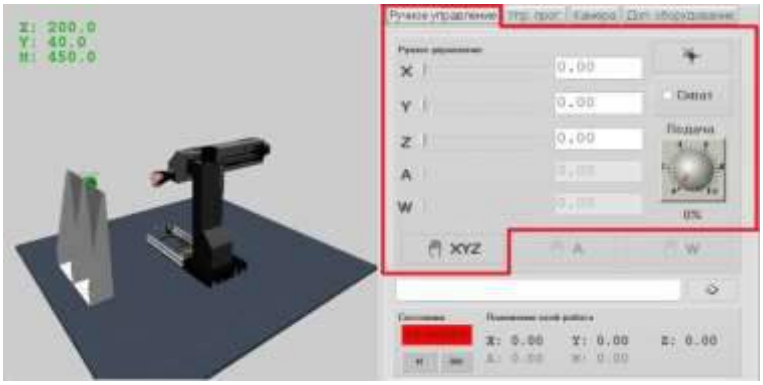


Рисунок 1.1 – Интерфейс ручного управления роботом–штабелером

2. Управление при помощи командной строки, в которой оператор прописывает текст команды, выполняемой роботом после нажатия клавиши «Enter» (рисунок 1.2).

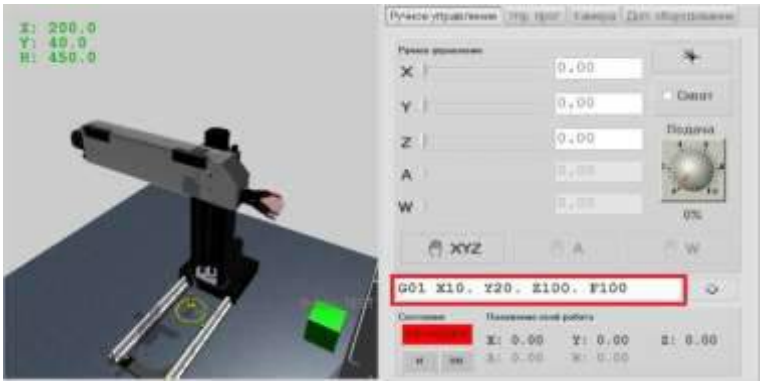


Рисунок 1.2 – Интерфейс управления при помощи командной строки

3. Управление роботом–штабелером при помощи управляющей программы, созданной в текстовом файле и загруженной оператором.



Рисунок 1.3 – Интерфейс управления роботом–штабелером при помощи управляющей программы

На рисунках 1.1 – 1.3 представлен «сокращенный» вид управления роботом–штабелером. В «расширенном» виде в интерфейсе управления роботом–штабелером отсутствует графическое представление положения робота в пространстве. Интерфейс управления роботом в «расширенном» виде представлен на рисунке 1.4.

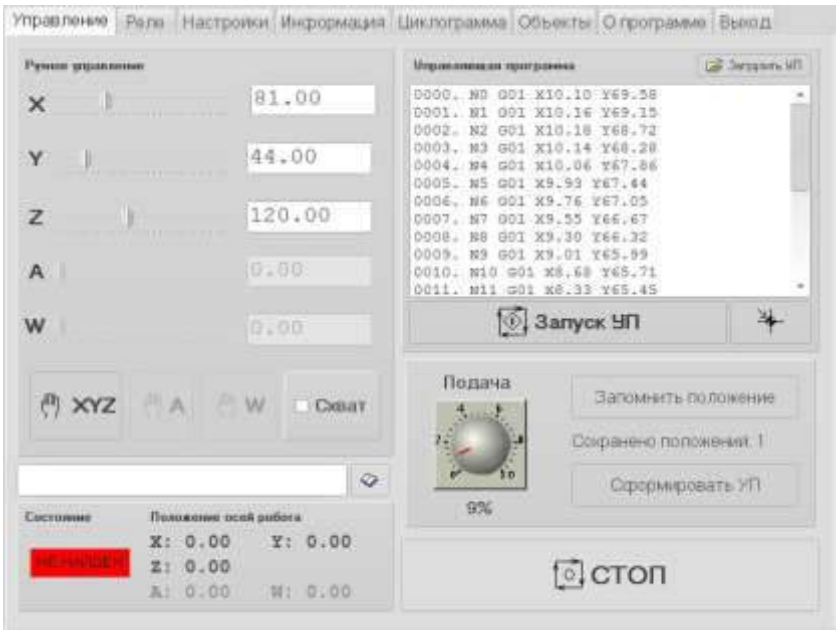
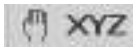


Рисунок 1.4 – Интерфейс управления роботом в «расширенном» виде

Для ручного управления роботом оператор должен переместить «ползунок» выбранной координаты (или нескольких координат для одновременного перемещения) в положение, соответствующее заданному положению робота. Значение координаты можно увидеть в белом поле рядом с выбранным «ползунком».

Для того, чтобы робот переместился в заданные координаты, необходимо после их назначения нажать кнопку 

. Для выхода звеньев робота в нулевое положение необходимо нажать на кнопку  . Далее выбрать из списка, по какой координате следует произвести выход в нулевое положение. Для управления схватом необходимо поставить либо убрать галочку в поле рядом со словом СХВАТ.

Для управления роботом–манипулятором при помощи командной строки необходимо написать текст команды в поле командной строки (см. рисунок 1.2).

Основной командой для управления звеньями робота является команда линейного перемещения G01. Пример текста команды выглядит следующим образом:

G01 X50. Y100. Z30. F100,

где G01 – команда линейного перемещения в заданные координаты;

X50. Y100. Z30. – координаты конечных положений звеньев робота;

F100 – обозначение скорости перемещения, цифры после буквы указывают на процент от максимального перемещения.

Перемещение можно произвести по одной, двум или трем координатам одновременно. Координаты X, Y и Z задаются в миллиметрах.

Для управления схватом используются команды LOCKERON и LOCKEROFF.

Команда LOCKERON сжимает губки схвата, команда LOCKEROFF – разжимает.

Для выхода звеньев робота в нулевое положение используется команда RHOME. При этом необходимо указать координату, для которой указывается команда, например:

RHOMEX – выход в нулевое положение по оси X;

RHOMEY – выход в нулевое положение по оси Y;

RHOMEZ – выход в нулевое положение по оси Z.

Все команды управления роботом-манипулятором записываются ПРОПИСНЫМИ буквами.

Более подробно о программировании можно узнать из прилагаемого пособия по программированию.

Для управления роботом–штабелером при помощи управляющей программы (УП), ее нужно загрузить нажатием на кнопку 

.

Перед загрузкой УП необходимо предварительно составить текст программы в текстовом редакторе «Блокнот», в формате «имя программы.txt». Каждая команда с параметрами перемещения записывается с новой строки. Текст после знака « ; » не считывается и является комментарием.

Также составление УП возможно перемещением робота в нужные положения и запоминанием полученных координат с помощью кнопки «Запомнить положение».

После завершения необходимых перемещений робота нужно нажать кнопку «Сформировать УП», и управляющая программа будет создана автоматически. При этом нужно указать путь сохранения и дать ей имя. Эту программу можно открыть текстовым редактором и отредактировать.

Ход работы

1) Включить блоки управления стендом.

2) Нарисовать схему подключения элементов стенда.

3) Запустить программу управления штабелером. В открывшемся окне проверить, что строка «состояние» горит зеленым цветом и есть надпись «Найден».

4) При помощи вкладки «объекты» в расширенном интерфейсе управления роботом создать минимум пять объектов, имитирующих ячейки для заготовок на складе.

5) В сокращенном режиме работы, оставаясь в режиме имитатора, произвести перемещения робота таким образом, чтобы схват робота поочередно оказывался там, где расположены созданные объекты. Перемещения необходимо осуществлять по одной оси, двум осям и трем осям одновременно, задавая при этом различные скорости перемещения звеньев робота–манипулятора по осям. Последовательность перемещения необходимо записать в таблицу 1.

Таблица 1 – Последовательность перемещения робота–манипулятора

№ перемещения	Координата X	Координата Y	Координата Z	Скорость перемещения F
1				
2				
3				
4				
5				

Вывести робот–манипулятор в нулевое положение по всем осям.

Составить для каждого перемещения команду. Записать текст команды в таблицу 2.

Таблица 2 – Команды перемещения робота–манипулятора

№ перемещения	Текст команды
1	
2	
3	
4	
5	

6) Путем последовательного ввода команд в командную строку произвести перемещения звеньев робота по осям. Обращать внимание на правильность написания команд. Отслеживать текущие координаты осей робота по значениям в поле «Положение осей робота». После окончания каждого перемещения нужно запоминать положение робота–манипулятора в программе нажатием кнопки «Запомнить положение» на вкладке «Управляющая программа». После запоминания всех перемещений по этим опорным точкам сформировать управляющую программу нажатием кнопки « Сформировать УП».

7) Открыть сформированную УП, добавить в конце программы команды выхода в нулевое положение по всем осям. Сохранить файл и запустить управляющую программу в имитаторе.

8) После правильного выполнения этой программы открыть её текст. Для имитации переноса заготовки из одной позиции в другую, перед перемещением робота в первую позицию вставить команду на разжим схвата, при достижении роботом первой позиции вставить команду на зажим схвата, имитируя зажим детали. Затем после перемещения робота во вторую позицию вставить команду на разжим схвата, имитируя укладку детали в ячейку.

9) По той же схеме произвести имитацию перемещения заготовки по трем ячейкам, при этом во второй ячейке происходит сначала разжим схвата и укладывание заготовки в ячейку, затем снова следует зажим этой заготовки и перенос в последнюю ячейку.

9) Записать управляющие программы. Составить отчет о выполненной работе.

Лабораторная работа №2

Изучение интерпретатора языка программирования робота

Цель работы:

Изучить понятие интерпретатора. Понять процесс работы интерпретатора. Определить работу интерпретатора при написании управляющей программы робота.

Теоретическая часть:

Программирование систем с числовым программным управлением (ЧПУ) производится посредством G – кода. G – код –это общее название языка программирования систем с ЧПУ, так как он имеет множество реализаций и дополнений у разных производителей и для разных устройств.Программа, написанная с использованием G-кода, состоит из кадров, каждый кадр содержит набор команд управления.Интерпретатор анализирует и тут же выполняет (собственно интерпретация) программу покомандно (или построчно), по мере поступления её исходного кода на вход интерпретатора.

Алгоритм работы простого интерпретатора включает в себя:

1) Прочитать инструкцию.

2) Проанализировать инструкцию и определить соответствующие действия.

3) Выполнить соответствующие действия.

4) Если не достигнуто условие завершения программы, прочитать следующую инструкцию и перейти к пункту 2.

По сути робот–манипулятор – это перепрограммируемый автоматический манипулятор промышленного применения. Под перепрограммируемостью, в соответствии со стандартом, понимается свойство промышленного робота заменять управляющую программу автоматически или при помощи человека-оператора.

К перепрограммированию относится изменение последовательности и(или) величин перемещений по степени подвижности и управляющих функций с помощью средств управления на пульте устройства управления.

Работа интерпретатора заключается в сопоставлении команд G – кода с командами, подаваемыми на микроконтроллер драйвера управления звеньями робота–манипулятора. При этом, если команды управления записаны неверно, интерпретатор не может сопоставить их с командами для микроконтроллера и действия не происходит.

Интерпретатор языка программирования встроен в программу для управления роботом, поэтому правильность работы интерпретатора определяется правильностью исполнения команд управляющей программы роботом–манипулятором.

Ход работы:

1) Включить блоки управления стендом, запустить программу управления стендом;
2) Выйти из режима «имитатора», убрав галочку в поле рядом с соответствующей надписью;
3) Вывести оси робота в нулевые положения;
4) Используя данные таблицы 2 из лабораторной работы №1 выполнить команды на скорости перемещения 20%, путем последовательного ввода команд в командную строку произвести перемещения звеньев робота–манипулятора по осям. Обращать внимание на правильность написания команд. Отслеживать текущие координаты осей робота по значениям в поле «Положение осей робота». После окончания каждого перемещения нужно запоминать положение робота–манипулятора в программе нажатием кнопки «Запомнить положение» на вкладке «Управляющая программа». После запоминания всех перемещений по этим опорным точкам сформировать управляющую программу нажатием кнопки « Сформировать УП». При этом обращать внимание, чтобы звенья робота при перемещении не наезжали на элементы стенда;
5) Открыть сформированную УП, добавить в конце программы команды выхода в нулевое положение по всем осям. Сохранить файл и запустить управляющую программу;
6) Описать действия робота–манипулятора для выполнения данной управляющей программы используя алгоритм работы простого интерпретатора;
7) Составить отчет о выполненной работе.

Лабораторная работа №3.

Изучение команд перемещения робота–манипулятора. Изучение работы робота–штабелера в декартовой системе координат

Цель работы

Изучение команд перемещения звеньев робота в декартовой системе координат.

Теоретическая часть

Перемещение звеньев робота задается тремя составляющими:

– координата X робота, передвижение горизонтального звена робота со схватом вперед–назад;

– координата Y робота, изменение высоты горизонтального звена робота вдоль вертикального звена вверх–вниз;

– координата Z робота, передвижение робота вправо–влево.

Данные координаты имеют только положительные значения, отсчитываемые от датчиков нулевого положения. На рисунке 3.1 звенья робота располагаются в нулевых координатах.

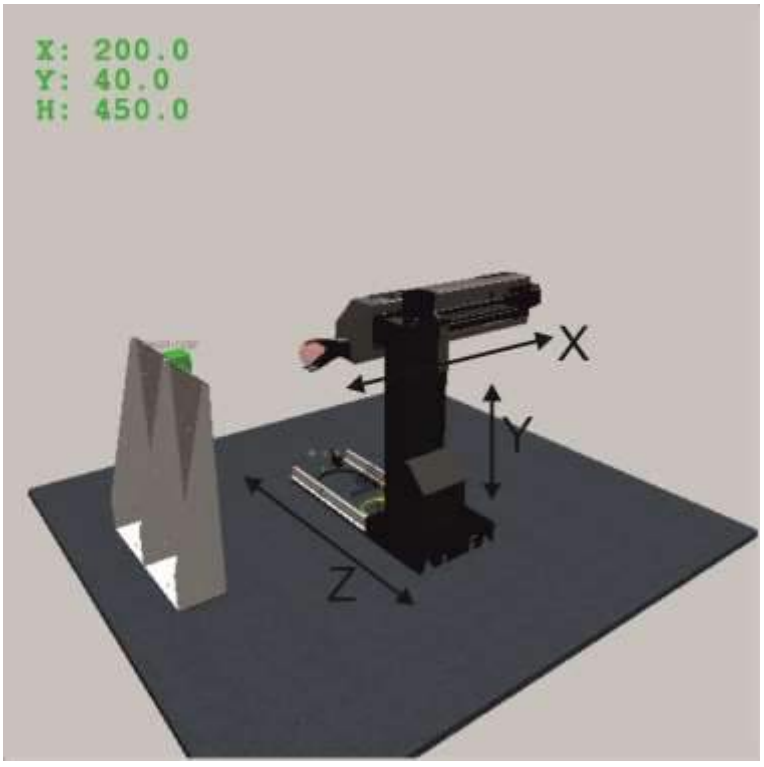


Рисунок 3.1 – Координаты перемещений звеньев робота

Декартова система координат показана на рисунке 3.2. В этой системе координат определяется положение центра схвата робота–штабелера. Декартовы координаты имеют только положительные значения по осям X и Z. По оси Y координаты имеют положительные и отрицательные значения. Положение центра схвата в декартовой системе отображается координатами в верхнем левом углу графического окна.

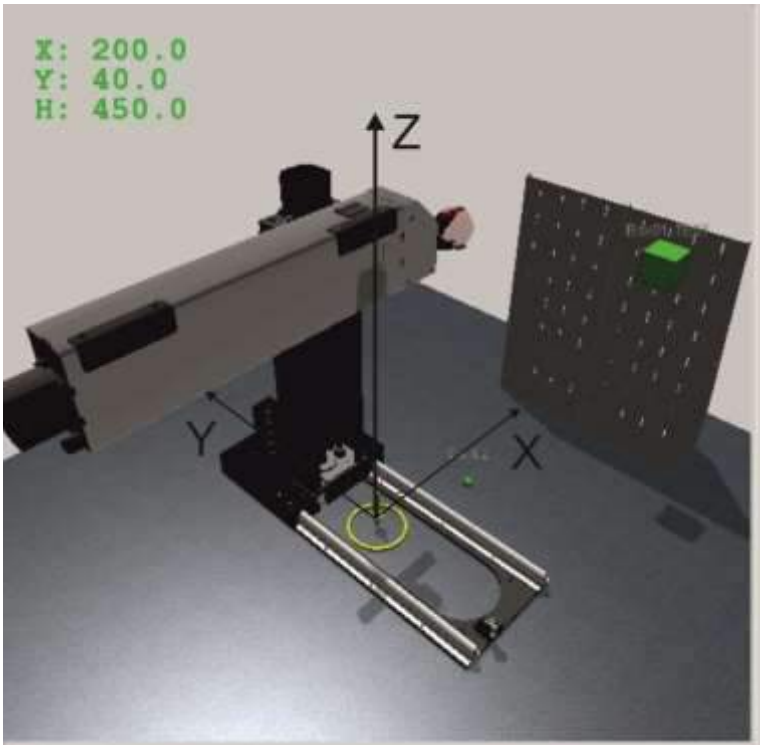


Рисунок 3.2 – Декартова система координат робота – штабелера

Более подробно с командами, используемыми в стенде можно ознакомиться в пособии по программированию.

Ход работы:

1) Включить блок управления стендом.

2) Запустить программу управления. В открывшемся окне проверить, что строка «состояние» горит зеленым цветом и есть надпись: «Найден».

3) Задавая различные величины перемещений звеньев робота определить зону работы робота в декартовых координатах и крайние точки его перемещения. Записать их в значениях (X, Y, Z) и для каждой точки написать соответствие в собственных перемещениях звеньев. Оформить в виде таблицы.

4) Установить кронштейны в произвольные ячейки склада. Зажать в схвате робота заготовку. Переместить поочередно схват робота в ячейки. Записать декартовы координаты ячеек. В графической части создать объекты, имитирующие зону расположения установленных ячеек. Записать полученные координаты объектов.

5) Определить, совпадают ли координаты перемещений робота и расположения ячеек.

6) Составить отчет о выполненной работе.

Лабораторная работа №4

Синтез программы сортировки объектов

Цель работы

Управление роботом–штабелером при создании управляющей программы сортировки объектов.

Теоретическая часть:

Для сортировки объектов по стенду представлена программа:

;По программе робот берет заготовку диаметром 35 миллиметров из 9 ячейки и ставит заготовку в 16 ячейку. Заготовки на длинном кронштейне.

```
RHOMEX
; Выход в нулевое положение по координате X
RHOMEY
; Выход в нулевое положение по координате Y
RHOMEZ
; Выход в нулевое положение по координате Z
LOCKEROFF
; Разжим схвата
G01 Z9. F150
; Позиционирование по координате Z для захвата заготовки из 9 ячейки
G01 Y18.
; Позиционирование по координате Y для захвата заготовки из 9 ячейки
G01 X196.
; Позиционирование по координате X для захвата заготовки из 9 ячейки
LOCKERON P2600
; Захват заготовки из 9 ячейки
G01 Y5.
;  Движение вверх по координате Y для безопасного выхода из позиции захвата заготовки
G01 Z275.
;  Позиционирование по координате Z для установки заготовки в 16 ячейку
G01 Y70.
;  Позиционирование по координате Y для установки заготовки в 16 ячейку
LOCKEROFF P2000
; Разжим схвата на 2000 импульсов
G01 X150. F150
; Безопасный отход по координате X из 16 ячейки
RHOMEX
;  Выход в нулевое положение по координате X
RHOMEY
```

; Выход в нулевое положение по координате Y
RHOMEZ
; Выход в нулевое положение по координате Z

Ход работы

1) Включить блок управления стендом;

2) Запустить программу управления стендом. В открывшемся окне проверить, что строка «состояние» горит зеленым цветом и есть надпись: «Найден». Установить кронштейны в ячейки 9 и 16.

3) Разобрать представленную выше управляющую программу по сортировке объектов.

4) Создать текстовый документ формата «имя_программы.txt». Записать в документ строки представленной управляющей программы, которые содержат исполнительные команды. Сохранить текстовый документ.

5) Выйти из режима «имитатор», переместить робот–штабелер в ячейки 9 и 16, при этом проверить, чтобы схват робота располагался точно в ячейках. Сравнить полученные координаты с координатами в управляющей программе. При необходимости ввести коррективы в программу.

6) В командную строку поочередно в порядке расположения в тексте вставлять строки с командами управляющей программы, выполняя каждую команду отдельно. Визуально следить за правильностью выполнения команды. Не допускать аварийных ситуаций.

7) Импортировать отработанную управляющую программу в программу управления стендом.

8) Запустить управляющую программу, контролируя визуально перемещения робота. Не допускать аварийных ситуаций.

9) После успешного завершения программы составить аналогичную для перемещения заготовки по трем ячейкам.

10) Составить отчет о выполненной работе.

Лабораторная работа №5

Синтез программы оптимизированного складирования объектов

Цель работы: произвести оптимизацию управляющей программы из лабораторной работы №4.

Теоретическая часть:

Оптимизация процесса складирования объектов подразумевает сокращение времени на выполнение автоматизированной системой своей управляющей программы. Одним из способов, позволяющих оптимизировать производственный процесс, является моделирование (имитация) выполнения программы. Данный вид оптимизации можно применить, используя перед выполнением управляющей программы среду «имитатор» для отработки управляющей программы. После оптимизации в «имитаторе» отработанную программу можно запустить для исполнения автоматизированной системой.

Для оптимизации также имеет место замена поочередного перемещения по нескольким осям одним совместным перемещением осей (интерполяция). Например, использовать одну команду G01 X46. Y120. F100 вместо двух последовательных команд G01 X46. F100 и G01 Y120. F100.

Еще одним примером оптимизации является использование меток для перехода, если нужно сделать программу повторяющейся, то есть запустить цикл.

Пример программы:

```
RHOME X
RHOME Y
RHOMR Z
1000:
G01 X100. Y100. F100
G01 Z150. F150
G01 X50. Y150. F100
G01 Z250. F150
RHOME X
RHOME Y
RHOMR Z
SHIFTTO P1000
```

В данной программе использована метка перехода 1000 в четвертой строке и обращение к ней в конце программы командой SHIFTTO P1000 в конце программы. То есть программа первый раз пройдет все строки и выполнит переход к четвертой

строке и в дальнейшем не будет выполнять первые три строчки. После числового обозначения метки ставится знак «:».

Ход работы:

1) Включить блок управления стендом.
2) Запустить программу управления штабелером. В открывшемся окне проверить, что строка «состояние» горит зеленым цветом и есть надпись «Найден».
3) В режиме «имитатор» запустить управляющую программу, полученную в лабораторной работе №4. Произвести оптимизацию данной программы.
4) Выполнить зацикливание данной программы.
5) Запустить получившуюся программу складирования объектов. При этом следует подавать заготовки в первоначальную ячейку.
6) Составить отчет о выполненной работе.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

ПРОМЫШЛЕННЫЕ МЕХАТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

Направление -
15.03.06 Мехатроника и робототехника
Профиль -
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____ *(подпись)*	Председатель _____ *(подпись)*
Волков Е.Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ 6
1.1. Состав и характеристики мехатронных модулей и робототехнических систем 7
1.2. Устройство мехатронных модулей движения 26
1.3. Информационная система и датчики мехатронных и робототехнических систем 41
1.4. Системы управления и приводы мехатронных и робототехнических устройств 58
1.5. Структура и состав роботизированных технологических комплексов 70
Вопросы для самопроверки 79

Глава 2. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ МОНТАЖНЫХ РАБОТ ОБОРУДОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ 80
2.1. Технологическая подготовка роботизированного производства и проведение монтажных работ 80
2.2. Монтаж механических систем роботов и станков 86
2.3. Монтаж пневмогидрооборудования 95
2.4. Монтаж устройств управления и электрооборудования роботов и мехатронных систем 108
2.5. Монтаж роботизированных технологических комплексов 116
Вопросы для самопроверки 120

Глава 3. НАЛАДКА И НАСТРОЙКА РОБОТОВ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ 121
3.1. Наладка механических устройств ПР и мехатронных систем 122
3.2. Наладка пневмогидрооборудования ПР 130
3.3. Наладка электрооборудования и устройств управления ... 135

3.4. Настройка параметров регуляторов в электроприводах роботов и мехатронных систем 144
3.4.1. Настройка по компьютерной и математической моделям 144
3.4.2. Практическая настройка электропривода CSD-DH мехатронной системы металлорежущего станка 150
3.4.3. Настройка регулятора положения при работе от ЧПУ ... 186
3.5. Наладка мехатронной системы металлорежущих станков 194
3.6. Наладка мехатронной системы лазерного технологического комплекса 203
Вопросы для самопроверки 215

Глава 4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ И ДИАГНОСТИКИ РОБОТОВ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ 218
4.1. Виды и общие требования к испытаниям промышленных и мобильных роботов 218
4.2. Определение технических характеристик ПР при испытаниях 226
4.3. Особенности испытаний мехатронных систем 236
4.4. Методы и средства диагностирования роботов и мехатронных систем 240
4.5. Испытания мехатронной системы металлорежущего станка 253
Вопросы для самопроверки 267

Глава 5. ЭКСПЛУАТАЦИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ 269
5.1. Эксплуатация роботов в производственных системах ... 269
5.2. Эксплуатация роботов в транспортно-накопительных системах автоматизированных производств 278
5.3. Техническое обслуживание мехатронных и робототехнических систем 286
5.4. Эксплуатация мехатронных и робототехнических систем 290
Вопросы для самопроверки 300

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 301

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 302

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности производственных процессов достигается использованием комплексной автоматизации на базе высокопроизводительного оборудования, станков с числовым программным управлением, микропроцессорной техники, промышленных роботов и гибких автоматизированных производств, построенных на базе мехатронных модулей. Эффективность работы рассматриваемых технических систем определяется их техническими характеристиками, конструкцией и надежностью работы, а также в значительной мере зависит от качества выполненных работ по монтажу, наладке и своевременного технического обслуживания в процессе эксплуатации. Для обслуживания промышленных роботов и мехатронных систем технологического оборудования, оснащаемого ими, необходимы знания их конструкций, методов и правил монтажа, наладки, испытаний и эксплуатации. Значительное место в современных системах настройки приводов и подготовки управляющих программ занимает компьютерная симуляция технических систем с использованием моделей. В современные мехатронные и робототехнические системы встраиваются высокоразвитые информационные системы и системы диагностики.

Учебное пособие написано в соответствии с программой курса «Испытания, наладка и эксплуатация мехатронных и робототехнических систем» для студентов, обучающихся по специальности «Мехатроника и робототехника». Материал базируется на отечественном опыте монтажа и наладки систем автоматизации, роботов и станков с ЧПУ, а также на личном опыте авторов по внедрению в производство промышленных роботов и роботизированных комплексов.

В учебном пособии приведены общие положения по устройству, наладке и испытаниям мехатронных модулей и промышленных роботов с электро-, пневмо- и гидроприводом.

Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Мехатроника – область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающими проектирование и производство качественно новых модулей, систем, машин и систем с интеллектуальным управлением их функциональными движениями. Основной целью мехатроники, как научно-технической дисциплины, является разработка принципиально новых функциональных узлов, блоков и модулей, реализующих двигательные функции, которые используются как основа для подвижных интеллектуальных машин и систем. В связи с этим, предметом мехатроники становятся технологические процессы проектирования и выпуска систем и машин, способных реализовать требуемый двигательный функционал. Методология, используемая в рамках мехатроники, опирается на взаимную интеграцию технологий, структурных элементов, информационных и энергетических процессов из целого перечня естественно-научных и инженерных направлений (информатики, точной механики, микроэлектроники, автоматического управления и т. п.). Обычно мехатронная система является объединением собственно электромеханических компонентов с силовой электроникой, которые управляются с помощью различных микроконтроллеров, персональных компьютеров или других вычислительных устройств. При этом система в истинно мехатронном подходе, несмотря на использование стандартных компонентов, строится как можно более монолитно, конструкторы стараются объединить все части системы воедино без использования лишних интерфейсов между модулями. В частности, применяя встроенные непосредственно в микроконтроллеры аналого-цифровые преобразователи, интеллектуальные силовые преобразователи и т. п. Это уменьшает массу и размеры системы, повышает её надёжность и дает некоторые другие преимущества. Любая система, управляющая группой приводов, может считаться мехатронной. Наиболее яркими представителями мехатронных систем являются роботы и станки с ЧПУ.

Обобщенная схема мехатронной системы представлена на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Обобщенная схема мехатронной системы

1.1. Состав и характеристики мехатронных модулей и робототехнических систем

Основой любой мехатронной системы являются мехатронные модули. Мехатронный модуль (ММ) – унифицированный мехатронный объект, имеющий автономную документацию и предназначенный, как правило, для реализации движений по одной координате. Примерами мехатронных модулей служат части станков - шпиндельная бабка, поворотный стол. В качестве модулей могут выступать двигатели, редукторы и т.п. Более сложные модули (автономные приводы) - мотор-редуктор, мотор-колесо, мотор-шпиндель, мотор-барабан и поворотный стол.

По физической природе составляющих элементов ММ подразделяются на электроприводные, гидроприводные, пневмоприводные и прочие. В состав электроприводных ММ входят электродвигатель и (как правило) преобразователь движения. Они распространены наиболее широко и обычно являются базой для сравнения вариантов на стадии проектирования. Гидроприводные ММ содержат гидродвигатели линейного или вращательного движения. По сравнению с электроприводными они обладают значительно меньшими размерами и массой, в частности, потому, что не требуют преобразователя движения; малой инерционностью; простотой регулирования и его широким диапазоном. К недостаткам их следует отнести сравнительно высокую стоимость; необходимость в насосной установке; чувствительность к качеству рабочей жидкости. Пневмоприводные ММ по принципу действия подобны гидроприводным, а различия между ними определяются особенностями рабочей среды – сжатого воздуха. ММ с пневмоприводом конструктивно проще гидроприводных, дешевле, менее требовательны в эксплуатации, способны реализовать более высокие скорости движения. В то же время их нагрузочная способность при равных размерах на два порядка меньше, существенно ниже КПД, они не в состоянии обеспечивать точные перемещения. В число прочих ММ входят модули как с комбинированным приводом, например, электрогидравлическим, так и с устройствами для преобразования энергии, не относящимися к электро-, гидро и пневмоприводу.

Классификация ММ по конструктивным признакам представлена на рис. 1.2. В полной мере фундаментальному определению мехатроники соответствуют только интеллектуальные мехатронные модули, которые содержат приводную часть (двигатель), информационную часть (датчики) и аппаратно-встроенную компьютерную часть.

Анализ развития мирового рынка продукции машиностроения свидетельствует о появлении нового класса технологического и измерительного оборудования, транспортных средств на базе мехатронных модулей движения (ММД). Причем объемы производства ММД в развитых странах мира с каждым годом увеличиваются. Миллионы ММД находят применение в авиации, космосе, приборостроении, электротехнике, станкостроении, робототехнике, автомобилестроении и других важнейших отраслях промышленности.

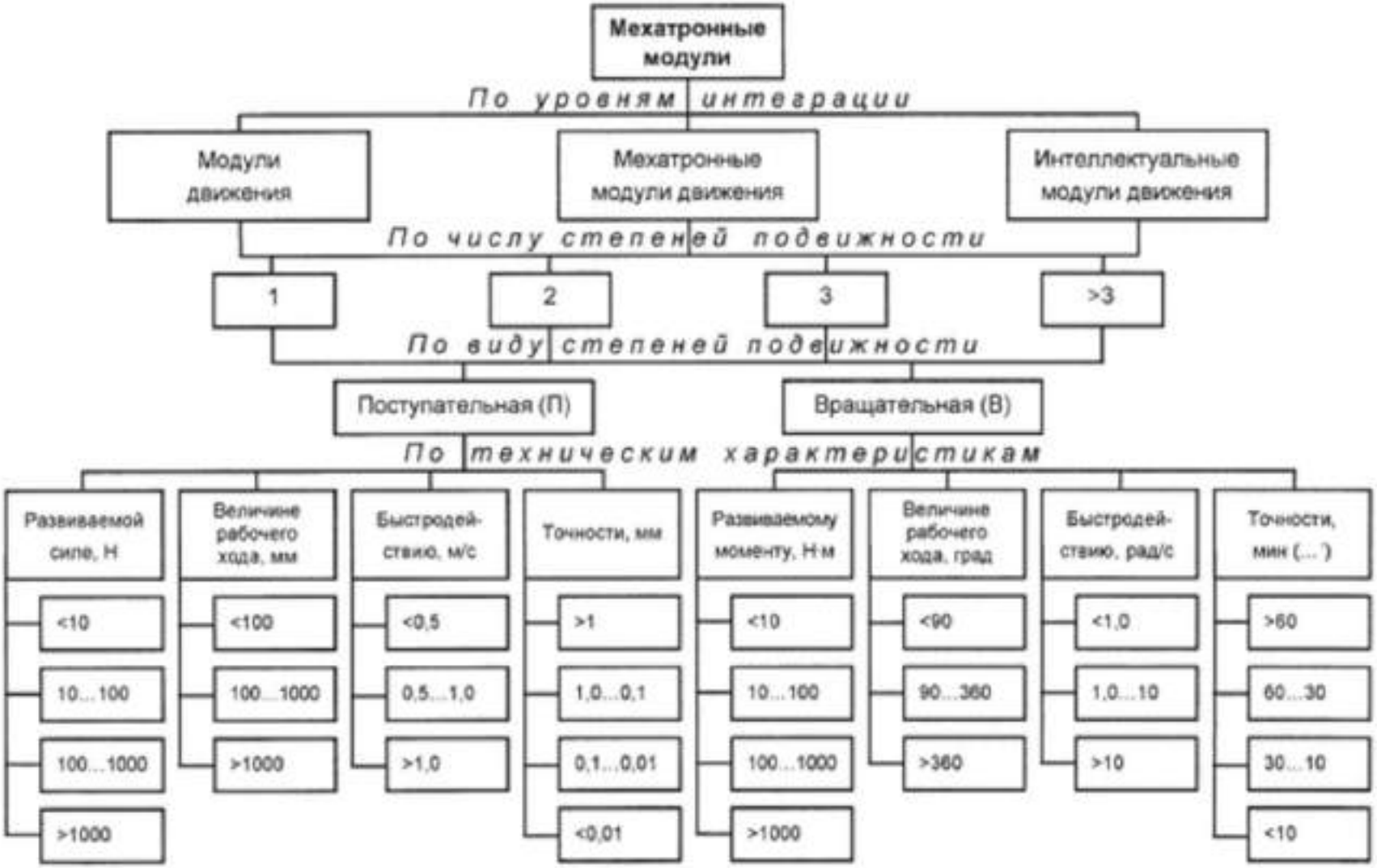


Рис.1.2. Классификация мехатронных модулей

На базе ММД уже сегодня создаются экологически чистые наземные, подземные и водные транспортные средства, а также технологии высокоскоростного резания легких сплавов для авиационных металлоконструкций, высокопроизводительного, "сухого" шлифования прецизионных деталей для автомобильной и подшипниковой промышленности, субмикронных измерений деталей и прецизионной высокопроизводительной обработки штампов и пресс-форм графитовых электродов и пластмассовых изделий. При этом главным признаком, отличающим ММД от общепромышленного электропривода, является введение электродвигателя в узел машины: электрошпиндель, мотор-шпиндель, электромеханизм линейного перемещения инструментов головки, поворотный глобусный или координатный стол, мотор-колесо и т.п. Основную номенклатуру ММД, на основе которых в настоящее время создаются производственные машины и транспортные средства нового поколения, можно подразделить на четыре группы.

1. Высокооборотные модули с максимальной частотой вращения от 9 000 до 250 000 мин-1 и мощностью от 0,1 до 30 кВт для металлорежущих станков, деревообрабатывающих машин, станков для сверления печатных плат, компрессоров и т.д.

В этих модулях используются воздушные и электромагнитные подшипники. Основные преимущества выпускаемых электрошпинделей на магнитных подшипниках:

- отсутствие механических контактов и, как следствие, износа; - возможность использования более высоких (по сравнению с традиционными конструкциями) скоростей; - небольшая вибрация, отсутствие трения и снижение тепловых потерь;

- возможность изменения жесткости и демпфирующих характеристик системы;

- возможность работы в вакууме и вредных средах; - экологическая чистота.

2. Низкооборотные модули с максимальной частотой вращения от 4 до 300 мин-1, моментом от 10 до 2500 Н·м и точностью позиционирования до 3" для поворотных столов станков, измерительных машин, оборудования для электронного машиностроения, узлов роботов и многоцелевых инструментальных головок. Модули подобного типа могут с успехом применяться в электровелосипедах, инвалидных колясках, электромотоциклах, скутерах и других легких транспортных средствах. Технические характеристики некоторых транспортных ММД, например, электровелосипедов и инвалидных колясок существенно превышают характеристики лучших мировых производителей. Так, масса инвалидной коляски меньше на 30 %, а пробег без подзарядки батареи больше на 50 %, чем у импортных аналогов.

3. Модули линейного движения с усилием от 10 до 5000 Н и скоростью до 32 м/с для приводов металлорежущих станков, промышленных роботов и измерительных машин, а также для запирающих устройств газо- и нефтепроводов.

4. Цифровые электроприводы с бесколлекторными синхронным и асинхронным двигателями мощностью до 10 кВт с моментом от 1 до 40 Н·м и высоким отношением момента к массе для приводов подачи высокопроизводительных станков и роботов, текстильных и деревообрабатывающих машин, приводов вентиляторов, насосов и т.д. Блок управления такими приводами создается на базе силовых интеллектуальных схем и встраивается в корпус или клеммную коробку электродвигателя.

В связи с расширением рынка высокопроизводительных машин и оборудования традиционной и нетрадиционной компоновок и освоением производства указанных ММД практически всеми ведущими электротехническими фирмами мира осуществляется постепенный перевод специальных ММД в модули движения общепромышленного применения. Так, встраиваемые электродвигатели для поворотных столов металлорежущих станков и мотор-колес для транспортных средств производятся по одной и той же технологии низкооборотных ММД на

основе современных магнитных систем. Рынок таких ММД стремительно развивается: спрос на эту продукцию в 1997 г. достигнет 100-120 тыс. штук.

Аналогичные примеры можно привести и по другим ММД, в том числе по линейным двигателям для станкостроения и робототехники, измерительных машин и транспортных средств.

Применение ММД в обрабатывающих центрах традиционной компоновки позволило повысить производительность фрезерования почти в 3 раза. Относительно высокая стоимость таких машин не останавливает ведущие авиационные концерны в мире от их закупок уже в настоящее время.

Еще большие возможности применения ММД имеют машины нетрадиционной компоновки: обрабатывающие и измерительные машины на основе так называемой платформы Стюарта и мехатронных поворотных столов. Сравнение экономических показателей такого блочно -модульного станка с аналогичными показателями обрабатывающего центра традиционного типа дает следующие результаты: - сокращение в 2-2,5 раза занимаемой производственной площади; -сокращение в 2-3 раза числа базовых деталей; - уменьшение в 1,5-2 раза металлоемкости (особенно при нетрадиционной компоновке).

Анализ технико-экономических показателей ММД и созданных на их базе машин нового поколения с учетом рынка продукции машиностроения позволяет выделить основные тенденции в области технического совершенствования компонентов общепромышленного применения:

- интенсивное развитие мехатронных модулей вращательного движения и линейного перемещения на базе электродвигателей переменного тока, встроенных в приводные узлы машин и оборудования, создаваемых специализированными фирмами и поставляемых машиностроительным предприятиям – лидерам машиностроительного инновационного рынка;

- развитие международной научно-технической и производственной кооперации в области комплектных систем управления машинами новых поколений на базе ММД для создания новых высококвалифицированных рабочих мест.

На основании прогноза и анализа развития станкостроения можно выделить следующие основные направления:

- качественное изменение конструкций металлорежущих станков (конструкции станков с параллельной кинематикой, гексаподные конструкции, конструкции типа «Box in a box» и др.);

- существенное повышение производительности станков, реализация технологий скоростной обработки; - широкая унификация станков, реализация принципов агрегатно-модульного конструирования. Для решения перечисленных задач наряду с совершенствованием технологии обработки, появлением новых режущих материалов, инструментов создаются принципиально новые мехатронные станочные узлы привода и автоматизации на базе интеграции средств прецизионной механики, электроники, электротехники. Конструктивное объединение исполнительного и приводного элементов механизмов линейных и вращательных перемещений станков, реализующих концепцию привода прямого действия «Direct Drive», позволяет исключить промежуточные механические преобразователи и передачи, повысить точность, быстродействие, снизить потери.

Наличие в этих конструкциях встроенных систем автоматического управления и датчиков контроля технологического процесса делает мехатронные узлы интеллектуальными автономными модулями, на базе которых могут создаваться конструкции перспективных металлообрабатывающих станков. Использование мехатронных модулей движения позволяет обеспечить высокий уровень автоматизации технологических процессов. На рис.1.3 приведен перечень мехатронных модулей движения и агрегатов на их основе, используемых в современных металлорежущих станках.

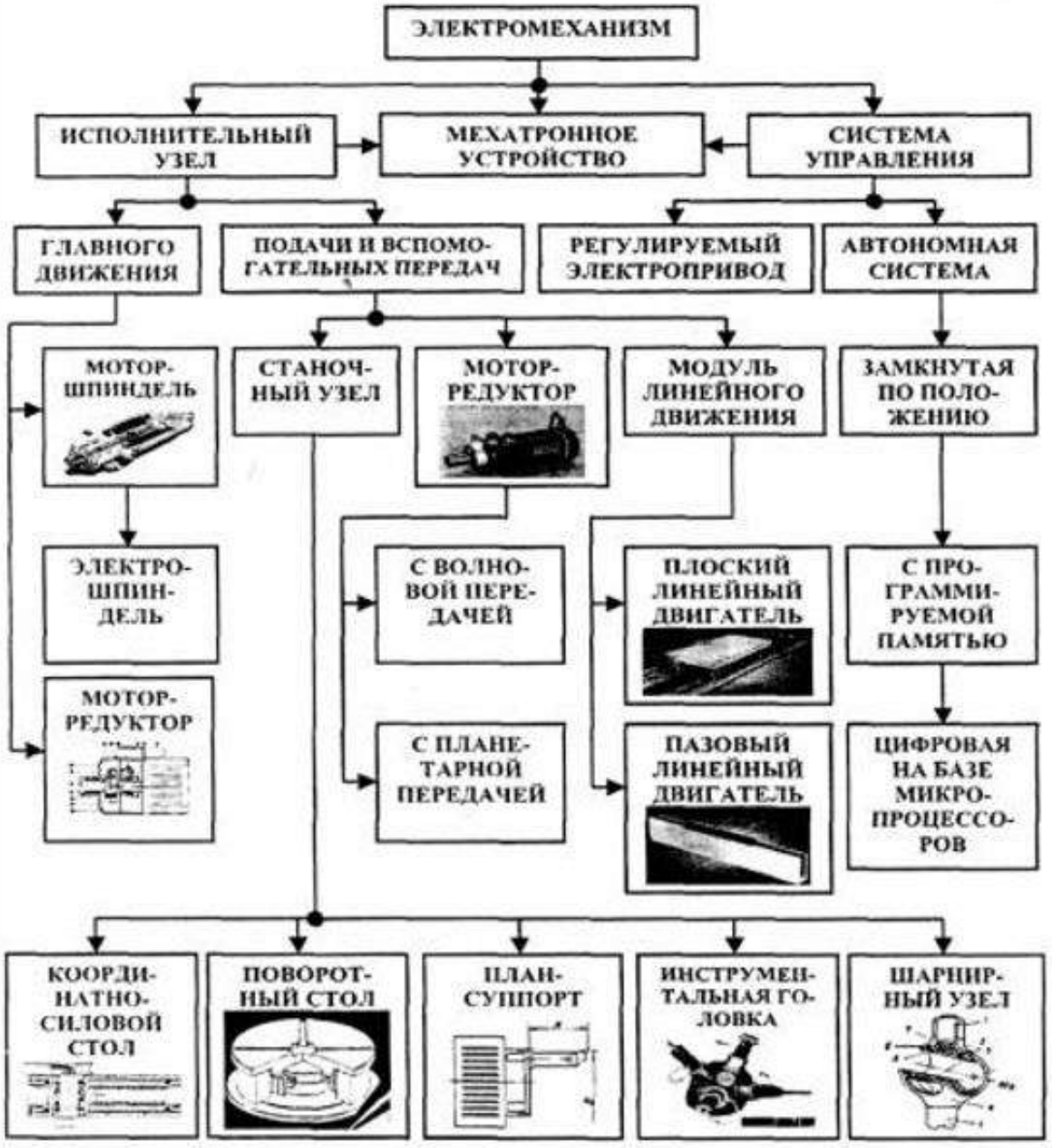


Рис. 1.3. Перечень мехатронных модулей движения и агрегатов на их основе, используемых в современных металлорежущих станках.

Робот как мехатронная система состоит из двух основных частей – исполнительных систем и устройства управления ими с сенсорной системой. В свою очередь исполнительные системы включают одну или несколько манипуляционных систем (обычно в виде механических манипуляторов) и системы передвижения, имеющейся только у подвижных (мобильных) роботов. Сегодня основным таким типом, по-прежнему, являются промышленные роботы (ПР), которые предназначены

для применения в промышленности и составляют до 80 % всего парка роботов в мире. В свою очередь промышленные роботы делятся на ряд типов более узкого назначения (например, робот окрасочный, сварочный, транспортный, для обслуживания станков, прессов, литейных машин и т. д.).

По ***типу выполняемых операций*** все промышленные роботы делятся на роботы технологические, которые выполняют основные технологические операции, и роботы вспомогательные, выполняющие вспомогательные технологические операции по обслуживанию технологического оборудования. Технологические роботы относятся к основному технологическому оборудованию, а вспомогательные можно отнести к средствам автоматизации. По широте перечня операций, для выполнения которых предназначен робот, различают роботы специальные, специализированные и универсальные. Специальные роботы предназначены для выполнения одной конкретной технологической операции (например, конкретную сборочную операцию, обслуживание определенной марки технологического оборудования).

Специализированные роботы могут выполнять различные однотипные операции (сборочный робот со сменными рабочими инструментами, робот для обслуживания определенного типа технологического оборудования и т.п.). Универсальные роботы предназначены для выполнения любых основных и вспомогательных операций в пределах их технических возможностей. Увеличение степени универсальности робота соответственно расширяет область его возможных применений, но одновременно неизбежно сопровождается недоиспользованием его возможностей на каждой конкретной операции. Наиболее оптимальными в этом отношении являются специальные роботы, но с другой стороны это предельно сужает их рынок, а, следовательно, и объем производства.

К ***конструктивным показателям*** роботов относят: тип приводов робота, его грузоподъемность, количество манипуляторов, тип и параметры их рабочей зоны, подвижность и способ размещения, исполнение по назначению. ***Приводы,*** которые используются в манипуляторах и системах передвижения роботов, делятся на электрические, гидравлические и пневматические. Часто их применяют в комбинации; например, в звеньях манипулятора большой грузоподъемности исполь-

зуют гидравлический привод, а в его захватном устройстве – более простой и маломощный пневматический привод. ***Грузоподъемность робота*** – это грузоподъемность его манипуляторов, а для транспортного робота еще и его шасси. Грузоподъемность манипулятора определяется массой перемещаемых им объектов и в зависимости от назначения робота может составлять от единиц грамм (сверхлегкие роботы, например, применяемые в микроэлектронике) до нескольких тысяч килограмм (сверхтяжелые, например, транспортные и космические роботы). ***Количество манипуляторов*** у роботов в большинстве случаев ограничено одним (одноманипуляторные или однорукие роботы). Однако в зависимости от назначения существуют конструкции роботов с двумя, тремя и четырьмя манипуляторами (соответственно двух-, трех- и четырехманипуляторные). Обычно манипуляторы робота выполняют одинаковыми, но имеются конструкции роботов и с разными манипуляторами. Например, существуют промышленные роботы для обслуживания прессов холодной штамповки с двумя разными манипуляторами: один основной для взятия заготовки и установки ее в пресс и другой упрощенной конструкции для выполнения более простой операции сталкивания готовой детали в бункер.

Тип и параметры рабочей зоны манипуляторов робота определяют область окружающего его пространства, в пределах которой робот может осуществлять манипуляции не передвигаясь, т.е. при неподвижном основании. Рабочая зона манипулятора – это пространство, в котором может находиться его рабочий орган при всех возможных положениях звеньев манипулятора. Форма рабочей зоны определяется системой координат, в которой осуществляется движение рабочего органа манипулятора, и числом степеней подвижности манипулятора.

Подвижность робота определяется наличием или отсутствием у него системы передвижения. В первом случае роботы называют мобильными, а во втором – стационарными. В соответствии с назначением роботов в них применяют системы передвижения практически всех известных на сегодня типов: от наземных колесных и гусеничных до предназначенных для передвижений в воде, глубинах земли, в воздухе и космосе. Специфическим для робототехники способом передвижения является шагание. ***По способу размещения*** стационарные и мобильные роботы бывают напольными, подвесными (мобильные роботы этого типа обычно перемещаются по поднятому рельсовому

пути), встраиваемыми в другое оборудование (например, в обслуживаемый станок) и т. д.

Исполнение робота по назначению зависит от внешних условий, в которых он должен функционировать. Различают исполнение нормальное, пылезащитное, теплозащитное, влагозащитное, взрывобезопасное и т.д.

По способу управления различают роботы с программным, адаптивным и интеллектуальным управлением. Управление движением по отдельным степеням подвижности может быть непрерывным (контурным) и дискретным позиционным. В последнем случае управление движением осуществляют, задавая конечную последовательность точек (позиций) и последующее перемещение по ним шагами от точки к точке без контроля траекторий между этими точками. Простейшим вариантом дискретного управления является цикловое, при котором количество точек позиционирования по каждой степени подвижности минимально, т.е. чаще всего ограничено двумя начальной и конечной. Быстродействие и точность роботов складываются из их значений для манипуляторов и систем передвижения.

Быстродействие манипулятора определяется скоростью перемещения его рабочего органа. Быстродействие манипуляторов у роботов общего применения можно разбить на следующие три диапазона:

малое – при линейных скоростях до 0,5 м/с;

среднее – при линейных скоростях от 0,5 до 1-3 м/с;

высокое – при больших скоростях.

Наибольшая скорость манипуляторов современных роботов достигает 10м/с и выше. Для значительной части областей применения роботов этот параметр очень важен, так как предопределяет их производительность. Основная трудность при повышении быстродействия связана с известным противоречием между быстродействием и другим не менее важным параметром – точностью. ***Точность манипулятора и системы передвижения робота*** характеризуется результирующей погрешностью позиционирования (при дискретном движении) или отработки заданной траектории (при непрерывном движении). Чаще всего точность роботов характеризуют абсолютной погрешностью.

Точность роботов общего применения можно разбить на следующие три диапазона:

малая – при линейной погрешности от 1мм и более;

средняя – при погрешности от 0,1 до 1 мм;

высокая – при меньшей линейной погрешности.

Наименьшую точность имеют роботы, предназначенные для выполнения наиболее грубых, например, транспортных движений, а наибольшую микронную – роботы, используемые в электронной промышленности. По сравнению с человеческой рукой существенным недостатком современных роботов пока является снижение точности с увеличением хода манипуляторов, в то время как у человека эти параметры в значительной степени развязаны благодаря разделению движений на грубые (быстрые) и точные.

Другими параметрами, характеризующими технический уровень роботов, являются надежность, число одновременно работающих степеней подвижности, время программирования, а также основанные на перечисленных выше параметрах различные относительные и комбинированные показатели. К ним относятся, в частности, удельная грузоподъемность, отнесенная к массе робота, выходная мощность манипулятора (произведение грузоподъемности на скорость перемещения), отнесенная к мощности его приводов, относительные оценки габаритных параметров, манипуляционных кинематических и динамических характеристик, возможностей программирования, экономической эффективности и т.п. Однако эти относительные показатели технического уровня уже не являются паспортными параметрами, используемыми для характеристики конкретных роботов, а служат критериями качества, предназначенными для их оптимизации при проектировании и сравнительной оценке.

Приведем несколько примеров роботов и обрабатывающего оборудования, построенного по мехатронному принципу.

На рис.1.4 представлен вид копирующего манипулятора Маскот фирмы «Телеробот» (Италия), предназначенного для работы с опасными химическими или биологическими препаратами.



Рис. 1.4. Копирующий манипулятор Маскот фирмы «Телеробот» (Италия).

Серия роботов FANUC M-710iC (Япония) предназначена для работы с грузами среднего веса от 20 до 70 кг (Рис. 1.5).



Рис. 1.5. Вид робота FANUC M-710iC

Компактное запястье, жесткая конструкция руки, узкая база и зона досягаемости до 3,1 м делают их незаменимыми при выполнении множества задач, а благодаря высоким угловым скоростям осей этих роботы являются очень быстрыми. Они также отличаются высокой грузоподъемностью и прекрасными инерционными показателями, благодаря чему любая модель может применяться для выполнения широкого спектра операций.

Робот KUKA KR QUANTEC PA – один из лучших роботов-палетоукладчиков на рынке. KUKA KR QUANTEC PA Arctic – его модификация, робот функционирующий при экстремально низких температурах. (Рис.1.6). Он создан для работы преимущественно в морозильных камерах, при температурах до -30 °С. Электронные и механические части аппарата не нуждаются в защите от мороза, снега, инея, а также не выделяют излишнего тепла. Радиус действия манипулятора модификации Арктик, как и у стандартного KUKA KR QUANTEC PA, составляет 3195 мм, а полезная нагрузка – до 240 кг. Аппарат идеален для применения в пищевой промышленности и в условиях крайнего севера. Кроме составления штабелей из паллетов, робот может выполнять и другие манипуляции, ведь точность его движений, а точнее говоря – стабильность повторяемости позиционирования, составляет 0,06 мм.



Рис. 1.6. Вид робота KUKA KR QUANTEC PA Arctic

Идеальным вариантом для промышленных предприятий, специализирующихся на выпуске небольших электронных устройств, является модель FANUC M-1iA, представленная на рис.1.7.



Рис. 1.7. Вид робота FANUC M-1iA

Она обладает гибким модулем, хорошо имитирующим человеческую руку. Для нее характерна высокая точность и повышенная производительность. При небольшой грузоподъемности она способна обеспечить различные технологические операции. Исполнительный орган имеет форму шарнирного параллелограмма, обеспечивающую высокоскоростную сборку деталей.

Робот BigDog – четырехногий робот с адаптивным управлением, созданный в 2005 году фирмой Boston Dynamics (Рис.1.8).



Рис. 1.8. Робот Big Dog

Робот сможет переносить снаряжение и помогать солдатам на территории, где не способен передвигаться обычный транспорт. Вместо колес и гусениц BigDog использует четыре ноги. В ногах находится большое количество разнообразных сенсоров. Также у BigDog имеется лазерный гироскоп и система бинокулярного зрения.

Длина робота Big Dog – 0,91 м, высота 0,76 м, вес 110 кг. В настоящее время он способен передвигаться по труднопроходимой местности со скоростью 6,4 км в час, перевозить 154 кг груза и подниматься на 35 градусную наклонную плоскость. Его передвижение контролирует компьютерная система, которая получает данные от различных сенсоров.

Универсальный фрезерный станок ФС-300 (Рис.1.9), изготавливаемый ВСЗ «Техника» г. Владимир, предназначен для обработки заготовок из черных и цветных металлов или их сплавов операциями фрезерования, сверления, развертывания, зенкерования под различными углами к плоскости стола.



Рис. 1.9. Вид станка ФС-300

На станке реализованы независимые привода подач по каждой координате. Фрезерный станок ФС-300 имеет возможность перемещения рабочих органов на роликовых направляющих по каждой координате с помощью передач винт-гайка или шариковинтовых пар. Зажим инструмента в шпинделях станка осуществляется пакетом тарельчатых пружин, разжим – гидравлический. Станок оснащается устройством цифровой индикации или УЧПУ.

Обрабатывающий центр OKUMA PM-600 (Япония), приведенный на рис.1.10, имеет параллельную кинематику исполнительного механизма на основе гексапода. Гексапод выполнен на базе шести механизмов поступательного перемещения, представляющих собой, например, шариковые винтовые передачи ШВП. Для изменения их длины служат регулируемые электроприводы. Контроль за величиной перемещения осуществляется датчиками положения. Одним концом штанга шарнирно соединена с основанием, а другим (также шарнирно) - с подвижной платформой, на которой установлен рабочий орган, например, мотор-шпиндель. Управляя вылетом штанг по программе, можно управлять положением шпинделя по шести координатам: *X, Y, Z* и тремя углами поворота.



Рис. 1.10. Обрабатывающий центр OKUMA PM-600

На рис. 1.11 представлен вид автоматизированного комплекса лазерного термоупрочнения ЛК-5В разработки ООО «ТермоЛазер», г. Владимир.

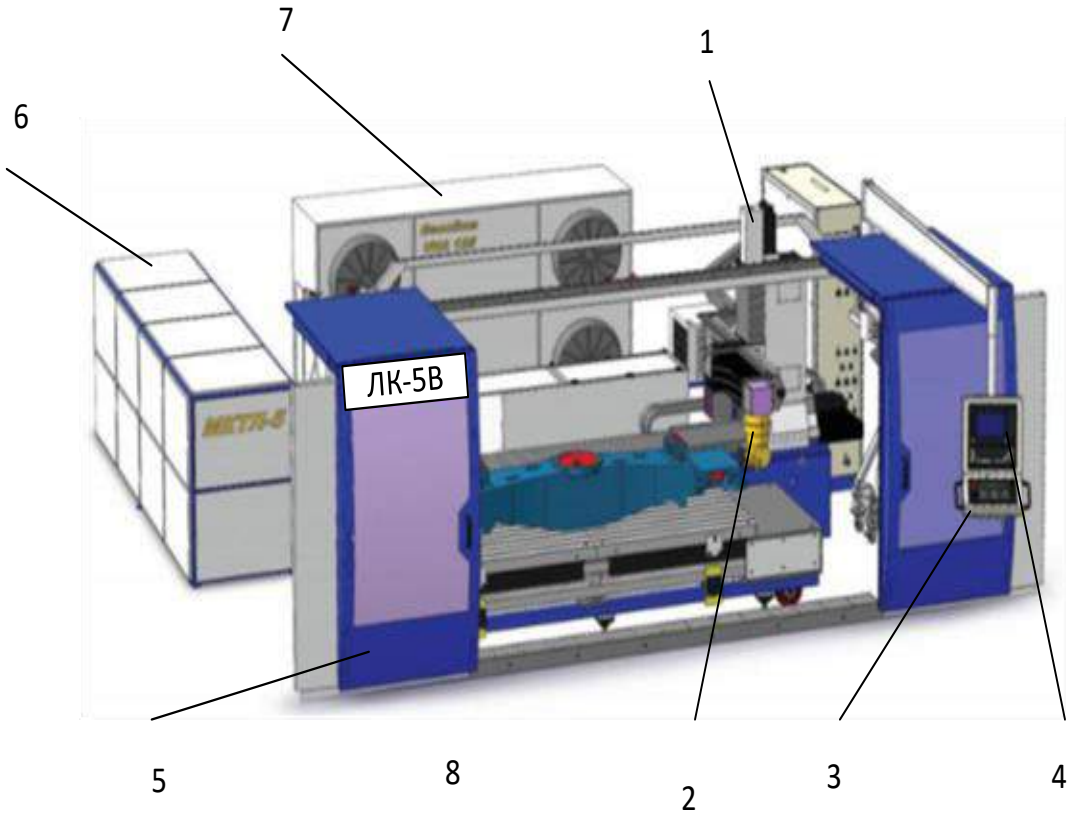


Рис. 1. 11. Вид автоматизированного комплекса лазерного термоупрочнения ЛК-5В

Здесь обозначено: 1- мехатронная исполнительная система с манипулятором оптики; 2- оптическая головка; 3- пульт оператора; 4- монитор; 5 – кабинет; 6 – лазер; 7 – чилер; 8 – стол.

Ниже представлены основные технические характеристики комплекса.

1 Тип лазера - многоканальный CO2-лазер

2 Мощность излучения, кВт - 5

3 Пределы регулирования мощности, кВт - 0,5-5,0

4 Режимы работы лазера - непрерывный, импульсно-периодический

5 Апертура выходного излучения, мм - 72,5

6 Диаметр пятна излучения в зоне обработки, мм - 8-10

7 Количество степеней подвижности манипулятора луча - 5

8 Манипулятор детали устанавливается по желанию заказчика

9 Зона обработки по X, У, Z, мм - 2500*1000*500

10 Линейная скорость обработки, мм/с - 10-20

11 Производительность обработки, $мм^2/с$ - 70-160

12 Потребляемая мощность, кВт - 80

13 Расход лазерной смеси (CO2: N2 : He), л/ч - 4

14 Количество обслуживающего персонала, чел./в смену - 2

15 Занимаемая площадь, $м^2$ - 37,5

Комплекс предназначен для локального лазерного упрочнения путем перемещения пятна лазерного излучения относительно обрабатываемой детали.

Значительные величины перемещений лазерного пятна позволяют производить поверхностное упрочнение быстроизнашивающихся поверхностей крупногабаритных дорогостоящих деталей.

Рабочий стол комплекса грузоподъёмностью до 2000 кг обеспечивает свободную установку и базирование спутников-паллет, а комплект системы ЧПУ Sinumerik 840Di позволяет производить управление пятью осями на станке. Конструкция рабочего стола обеспечивает свободную установку и четкое базирование спутников-паллет, приспособлений и устройств с обрабатываемыми деталями, исключая случайное смещение деталей по координатам X, Y и Z и от горизонтального положения.

1.2. Устройство мехатронных модулей движения

Главным отличительным признаком мехатронного модуля движения (ММД) от общепромышленного привода является использование вала двигателя в качестве одного из элементов механического преобразователя движения. Примеры ММД: мотор-редуктор, мотор-колесо, мотор-барабан, электрошпиндель.

Мотор-редуктор объединяет в один компактный конструктивный модуль электродвигатель и преобразователь движения. Эта конструкция получила в настоящее время широкое распространение. Выпускается целая гамма различных типов мотор-редукторов для различных условий применения, позволяющая найти оптимальное решение каждой конкретной задачи.

По сравнению с традиционным соединением двигателя и редуктора через муфту моторы- редукторы обладают целым рядом существенных преимуществ:

- сокращение габаритных размеров;

- снижение стоимости за счет сокращения количества присоединительных деталей, уменьшения затрат на установку, наладку и запуск изделия;

- улучшенные эксплуатационные свойства (пыле- и влагозащищенность, минимальный уровень вибраций, безопасность и надежность работы в неблагоприятных производственных условиях).

Конструктивное исполнение модуля определяется типами используемых редуктора и электродвигателя. В зависимости от технических требований задачи применяются цилиндрические, насадные, конические, червячные и другие виды редукторов. В качестве электродвигателей наиболее часто используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором и регулируемыми преобразователями частоты вращения, однофазные двигатели и двигатели постоянного тока. Многие зарубежные и отечественные фирмы производят электродвигатели, цилиндрические и планетарные редукторы и на их основе мотор-редукторы, которые при необходимости снабжают фотоимпульсными датчиками, резольверами и тормозами (переводя таким образом в класс ММД). Блочно-модульная система присоединения к двигателю различных типов планетарных и цилиндрических редукторов, а также магнитных и цифровых фотоимпульсных датчиков показана на рис. 1.12.

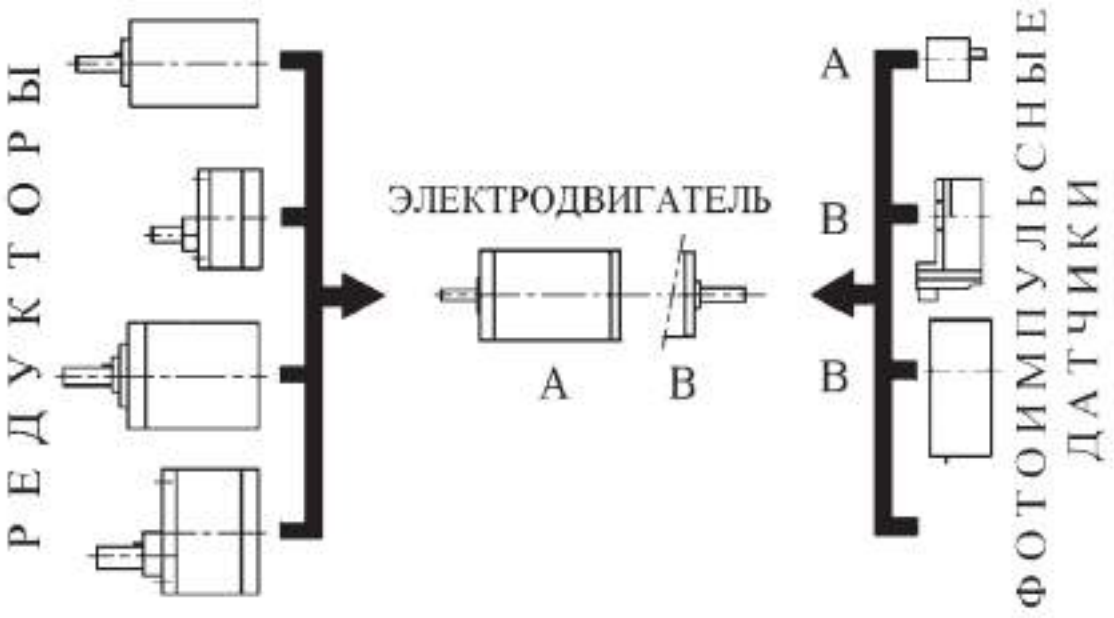


Рис. 1.12. Блочно-модульная система формирования мотор-редукторов: А, В – исполнения двигателя

Конструктивное объединение двигателя и преобразователя движения в мотор-редуктор имеет ряд преимуществ по сравнению с устаревшей системой соединения двигателя и преобразователя движения через муфту. Это и значительное сокращение габаритных размеров, и существенное уменьшение количества соединительных узлов и деталей, и снижение затрат на установку, отладку и запуск.

Благодаря своим достоинствам мотор-редуктор является в настоящее время одним из наиболее распространенных видов электропривода. Во всем мире выпускают ежегодно миллионы штук мотор- редукторов различных типов и исполнений, что позволяет удовлетворить все мыслимые потребности. Мотор-редуктор с преобразователем движения в виде соосного цилиндрического редуктора (рис. 1.13) состоит из двух основных элементов: двигателя *1* и редуктора *2*, имеющего стыковочную поверхность *3* с отверстиями для крепления к ней двигателя винтами или болтами *4*.

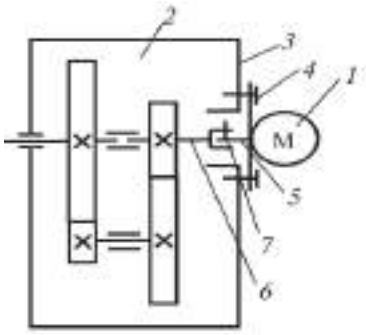


Рис. 1.13. Соосный двухступенчатый

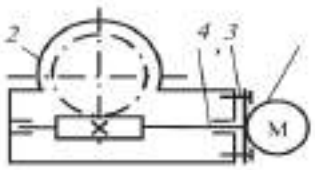


Рис. 1.14. Червячный мотор-редуктор редуктор

При объединении двигателя и редуктора в единый конструктивный модуль вал *5* двигателя вводят во входной полый вал *6* редуктора и закрепляют шпонкой *7*. Возможен вариант, когда двигатель и редуктор имеют общий вал. Схема одноступенчатого червячного мотор-редуктора представлена на рис. 1.14. Он состоит из двигателя *1* и червячного преобразователя движения *2*, соединенных в общий корпус винтами *3*. Вал *4* двигателя и преобразователя движения единый.

Внешний вид двухступенчатого червячного мотор-редуктора фирмы *MOTOVARIO* показан на рис. 1.15.

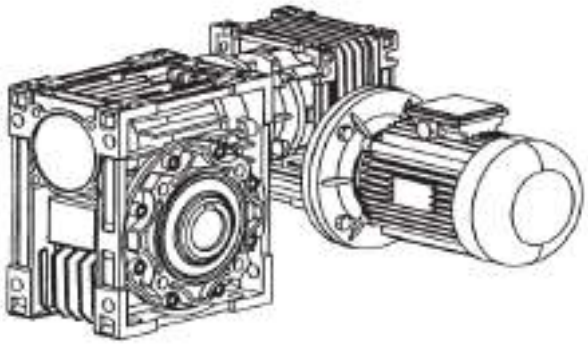


Рис. 1.15. Двухступенчатый червячный мотор-редуктор фирмы *MOTOVARIO*

В мотор-редукторах наиболее часто используют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, регулируемые преобразователем частоты вращения вала, однофазные двигатели и двигатели постоянного тока.

Планетарный зубчатый мотор-редуктор изображен на рис. 1.16.

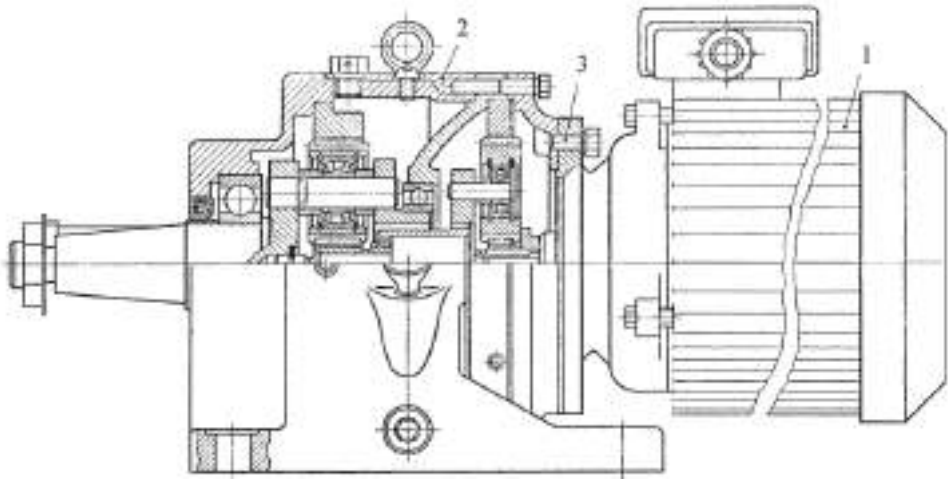


Рис. 1.16. Планетарный двухступенчатый мотор-редуктор

Он состоит из асинхронного двигателя *1* и двухступенчатого планетарного зубчатого преобразователя движения *2*, соединенных при помощи винтов *3* в единый корпус. В преобразователе движения плавающими элементами являются водило первой ступени и солнечная шестерня второй ступени, которые связаны между собой зубчатыми муфтами. Водило второй ступени выполнено заодно с выходным валом преобразователя движения. Сателлиты первой ступени установлены в водилах консольно.

Планетарно-цевочный одноступенчатый мотор-редуктор, состоящий из двигателя *1* и преобразователя движения *2*, соединенных в единый корпус винтами *3*, представлен на рис. 1.17.

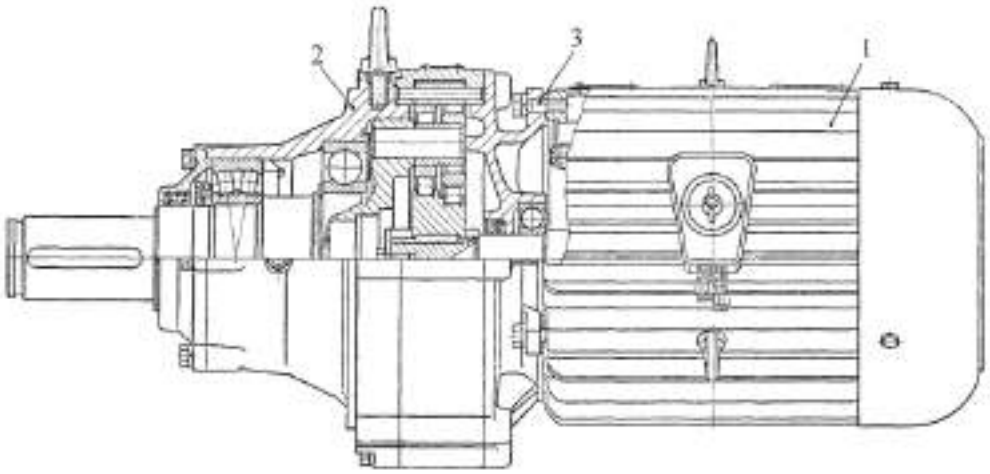


Рис. 1.17. Планетарно-цевочный мотор-редуктор

Мотор-редуктор на основе волнового механизма с лектромагнитным генератором волн изображен на рис. 1.18.

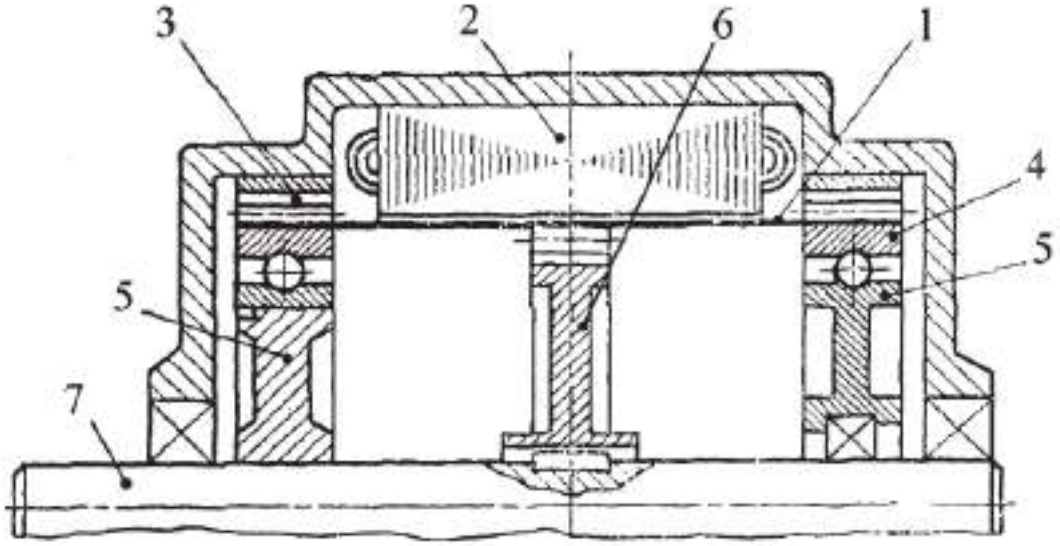


Рис. 1.18. Волновой мотор-редуктор

Он состоит из гибкого колеса *1*, электромагнитного генератора волн *2*, жестких колес *3*, гибких подшипников *4*, кулачков *5*, зубчатого колеса 6 и выходного вала *7*. При работе мотор-редуктора гибкое колесо под воздействием электромагнитного генератора волн входит в зацепление с жесткими колесами. При этом гибкое колесо деформируется синхронно с вращающимся электромагнитным полем и, взаимодействуя с жесткими колесами, вращается относительно корпуса, передавая через зубчатое колесо *6* вращение выходному валу. Кулачки с надетыми на них гибкими подшипниками приходят в движение вместе с гибким колесом.

Кулачки можно устанавливать на выходной вал непосредственно или при помощи подшипников качения. Во втором случае обеспечивается радиальная координация гибкого колеса относительно жесткого, увеличивается надежность, долговечность и повышается коэффициент полезного действия модуля движения.

Во многих случаях скорость вращения выходного вала мотор-редуктора должна быть изменяемой. Реализовать это требование возможно применением механических вариаторов, позволяющих регулировать скорость вращения, либо применением электронных устройств,

изменяющих скорость вращения двигателя. Каждый из указанных способов, имеющих свои преимущества и недостатки, применяют в зависимости от тех конструктивных и технологических задач, которые необходимо решить. Например, если требуется повысить передаваемый момент на выходном валу, то целесообразно применять конструкцию мотор-редуктора с механическим вариатором. Если же необходимо расширить диапазон регулирования скорости либо сохранить минимальные габариты и массу мотор-редуктора, то предпочтительны частотные преобразователи скорости. В мотор-редукторах могут быть использованы различные типы вариаторов. При этом изделие получает название «*мотор-вариатор- редуктор*». На рис. 1.19 представлена общая компоновочная схема мотор-вариатор-редукторов.

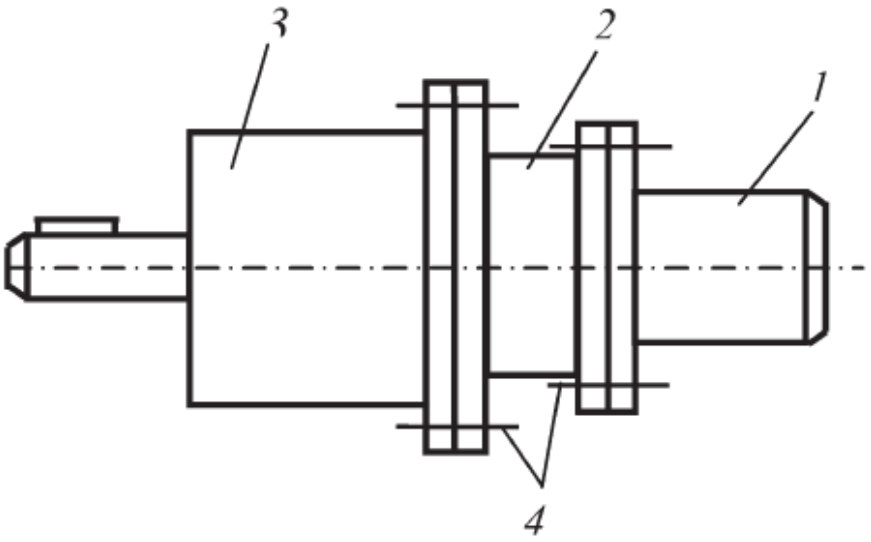


Рис. 1.19. Компоновка мотор-вариатор-редуктора

Двигатель *1*, вариатор 2 и редуктор *3* соединяют фланцами с помощью винтов (болтов) *4*. Применение мотор-редукторов в комплекте с частотными преобразователями скорости позволяет посредством изменения скорости вращения вала двигателя осуществлять плавное (бесступенчатое) регулирование скорости выходного вала с сохранением момента.

Конструкция мотор-колеса на основе планетарно-цевочного преобразователя движения типа *K-H-V* представлена на рис. 1.20.

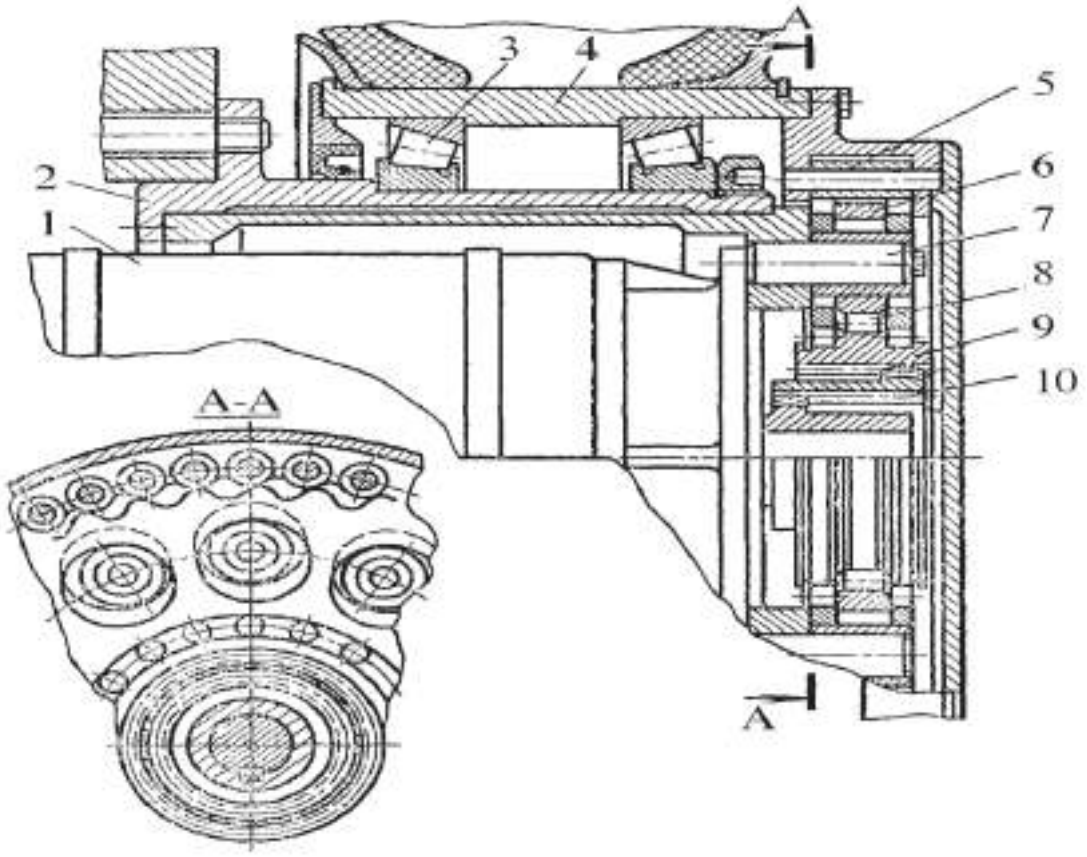


Рис. 1.20. Конструкция мотор-колеса на основе планетарно-цевочного редуктора

Эксцентрик *9* связан с валом электродвигателя *7* через двойную зубчатую муфту *10*. Для роликов *8* эксцентрик имеет три беговые дорожки. Через сателлит *6* вращение передается цевочному колесу *5* и дальше на ступицу колеса *4*, которая опирается на два конических радиально-упорных подшипника *3*. Механизм параллельных кривошипов *7* установлен в неподвижной ступице *2*. Передача является двухсателлитной, причем один из сателлитов раздвоен и расположен симметрично относительно другого, что исключает неравномерность распределения нагрузки по длине цевок колеса *5*. Эксцентрик *9* выполнен плавающим и не имеет радиальных опор. Конструкция компактна и достаточно проста в сборке и разборке.

Развитие новых электронных технологий привело к созданию миниатюрных датчиков и электронных блоков для обработки их сигналов. Это позволило ввести в ММД электронные и информационные устройства, наличие которых является главным отличительным признаком ММД от МД. Важным шагом в развитии приводной техники

стало появление высокомоментных двигателей вращательного движения, применение которых позволило вообще исключить механический редуктор из состава электроприводов постоянного тока, работающих на низких скоростях. Высокомоментными называются двигатели постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов и электронной коммутацией обмоток, которые допускают многократную перегрузку по моменту. Для определения положения полюсов на роторе вентильного ВМД устанавливают дополнительные технические средства (например, датчики Холла, индуктивные и фотоэлектрические датчики). Обычно высокомоментные двигатели (ВМД) устойчиво работают на частотах вращения 0.1-1 1/мин, которые типичны для металлорежущих станов и промышленных роботов. Основные преимущества ВМД определяются отсутствием в приводе редуктора: - снижение материалоемкости, компактность и модульность конструкции; - повышенные точностные характеристики привода благодаря отсутствию зазоров; - исключение трения в механической трансмиссии позволяет существенно уменьшить погрешности позиционирования и нелинейные динамические эффекты на ползучих скоростях; - повышение резонансной частоты. ВМД выпускаются в настоящее время коллекторного и вентильного (иногда используется термин «бесщеточного», либо «бесконтактного») типов. Основные преимущества вентильных двигателей по сравнению с коллекторными: - высокая надежность, большой срок службы, минимальные затраты на обслуживание (вследствие исключения искрения и износа щеток); - улучшенные тепловые характеристики (так как тепло рассеивается на обмотках статора, а на роторе тепловыделяющие элементы отсутствуют), отсюда возможность использования проводов малого сечения; - высокое быстродействие за счет высокого соотношения развиваемый момент/ момент инерции ротора;

- большая перегрузочная способность по моменту (типично Ммах/Мном = 8) в широком диапазоне регулирования скорости;

- близкие к линейным механические и регулировочные характеристики. По сравнению с синхронными двигателями вентильные ВМД позволяют регулировать скорость вращения с помощью обратной связи, частота вращения не зависит от напряжения питания, нет проблемы выпадения из синхронизма.

Основной недостаток вентильных двигателей - наличие дорогостоящих магнитов и блока управления коммутацией обмоток, отсюда пониженный показатель мощность/цена и повышенные габариты. В современных модификациях эта проблема решается путем построения этих блоков на базе относительно дешевых интегральных микросхем. В состав современных мехатронных модулей движения на основе ВМД обязательно входят также датчики обратной связи и иногда управляемые тормоза, что позволяет отнести такие ММД ко второму поколению. В качестве датчиков наиболее часто применяются фотоимпульсные датчики (энкодеры), тахогенераторы, резольверы и кодовые датчики положения. Принципиально важно, что модуль "двигатель-датчик" имеет единый вал, что позволяет сочетать высокие технические параметры и низкую стоимость.

Современное производство предъявляет к ММД целый ряд требований: высокая точность реализации исполнительных движений; надежность, долговечность; возможность работы при наличии различных видов возмущений и в широком диапазоне температур окружающей среды; значительно меньшие массогабаритные показатели по сравнению с обычным электроприводом. Требования к развиваемым усилиям, точности и скорости исполнительных движений диктуются особенностями автоматизируемых операций, а требование минимизации размеров – необходимостью встраивания модуля в ограниченное пространство. Попытка синтеза ММД из имеющихся в наличии серийно выпускаемых компонентов может привести к технически и экономически неэффективным решениям. Рациональным является проектирование специализированного ММД, наиболее полно отвечающего его служебному назначению. Сложность и противоречивость требований, предъявляемых к ММД, обусловливает целесообразность мехатронного подхода к их проектированию. В частности, следование принципу синергетической интеграции элементов системы приводит к обеспечению желаемого уровня качества модуля за счет конструктивного и функционального взаимопроникновения его компонентов, многие из которых являются специализированными и создаются в ходе параллельного системного проектирования с учетом их последующего объединения. Если преобладающим является требование обеспечения компактности, то оно может быть реализовано путем использования бесконтактных электрических машин и их интеграции с преобразова-

телями движения и информационно-измерительными элементами. При этом преобразователи движения и датчики не являются отдельными устройствами, а становятся неотъемлемыми элементами двигателя. Синергетический эффект достигается также за счет выполнения некоторыми компонентами ММД нескольких функций одновременно. Такие решения позволяют исключить многие механические интерфейсы, упростить и удешевить конструкцию, устранить необходимость механической подгонки и согласования датчика и двигателя. ММД являются функциональными «кубиками», из которых можно компоновать сложные мехатронные системы.

Примеры ММД: модули на основе электродвигателей углового линейного движения и различных преобразователей движения (винтовых, червячных, планетарных, волновых и т. п.), безредукторные ММД, безредукторные поворотные столы. ММ линейного движения выходного звена изображен на рис. 1.21.

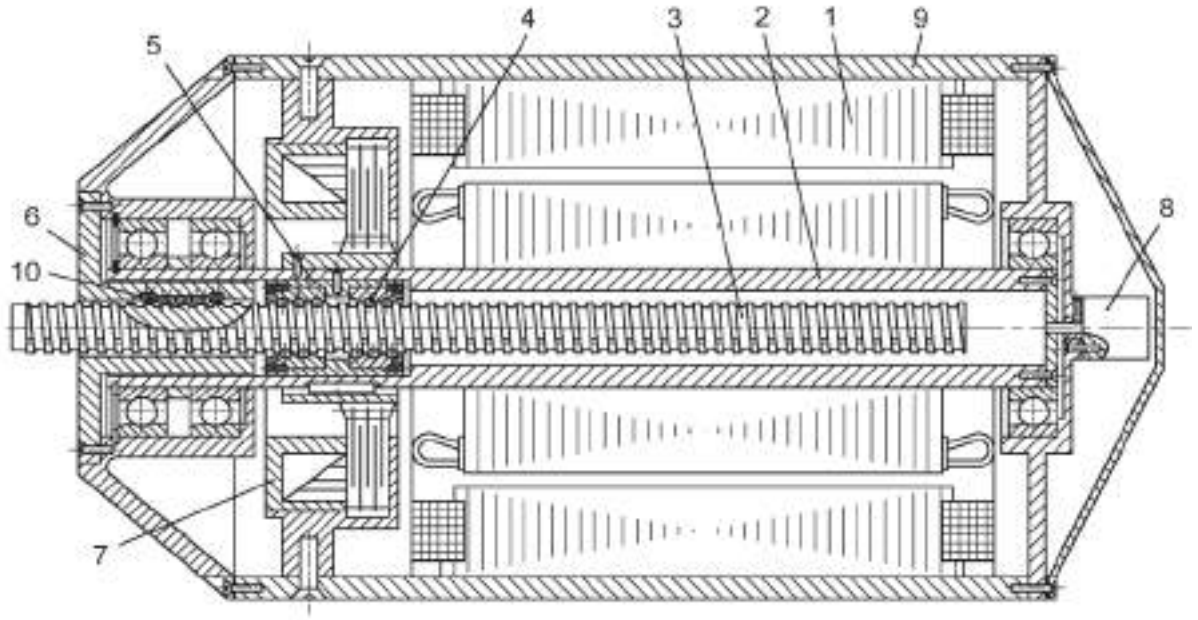


Рис. 1.21. Мехатронный модуль линейного движения

Он состоит из асинхронного двигателя *1* с полым валом *2*, шариковинтовой передачи, включающей в себя винт *3*, шарики *4*, составную гайку *5*, соединенную с валом *2*, направляющей *6*, нормально замкнутого электромагнитного тормоза *7*, фотоимпульсного датчика *8* и корпуса *9*. При вращении ротора двигателя *1* вал *2* вращает гайку *5*, которая через шарики *4* вызывает поступательное перемещение винта

3. Для предотвращения проворачивания и уменьшения трения при перемещении винта *3* в нем сделаны три продольных паза, в которые входят шарики *10* направляющей *6*. Величину перемещения винта *3* фиксирует фотоимпульсный датчик *8*. Электромагнитный тормоз *7*, закрепленный в корпусе *9*, в случае отключения электроэнергии срабатывает и останавливает винт.

Двухстепенной (двухкоординатный) ММД показан на рис. 1.22.

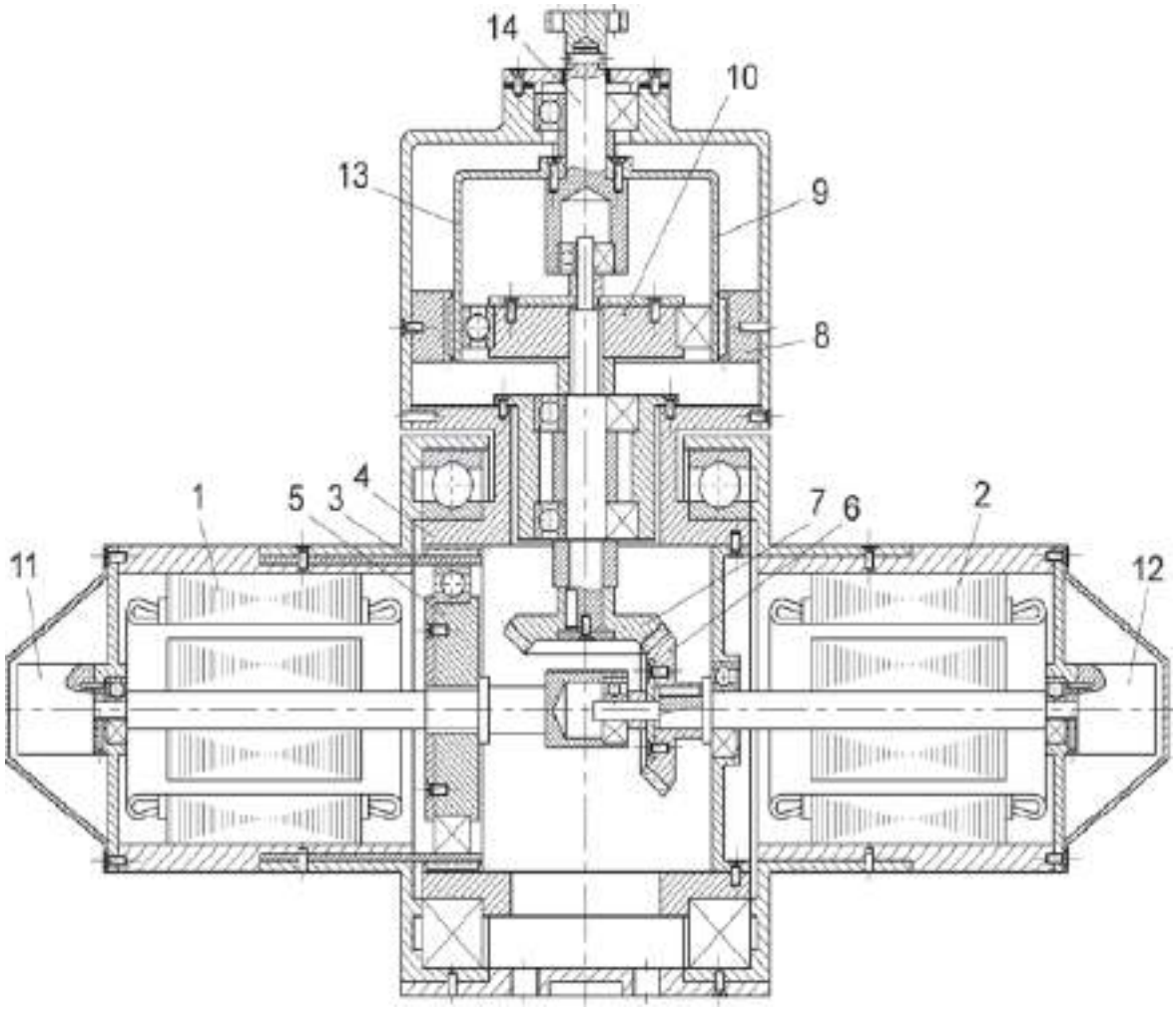


Рис. 1.22. Двухкоординатный мехатронный модуль движения

Модуль состоит из двух двигателей *1* и *2*, волнового преобразователя движения с неподвижным гибким колесом *3*, подвижным жестким колесом *4* и кулачковым генератором волн *5*, двухступенчатого преобразователя движения, состоящего из конической зубчатой передачи *6–7*, волнового преобразователя движения с неподвижным жест-

ким колесом *8*, подвижным гибким колесом *9* и кулачковым генератором волн *10*, двух фотоимпульсных датчиков *11* и *12*. При включении двигателя *1* генератор волн *5* начинает вращаться и жесткое колесо *4* вместе со связанным с ним корпусом *13* приходит в движение. При включении двигателя *2* вращение его вала через пару зубчатых колес *6–7* приводит во вращение генератор волн *10*, и гибкое колесо *9* вместе со связанным с ним выходным валом *14* приходит в движение. Фотоимпульсные датчики *11* и *12* предназначены для определения положения и перемещения корпуса *13* и выходного вала *14* соответственно.

На рис. 1.23 изображен ММД фирмы *MAXON*.

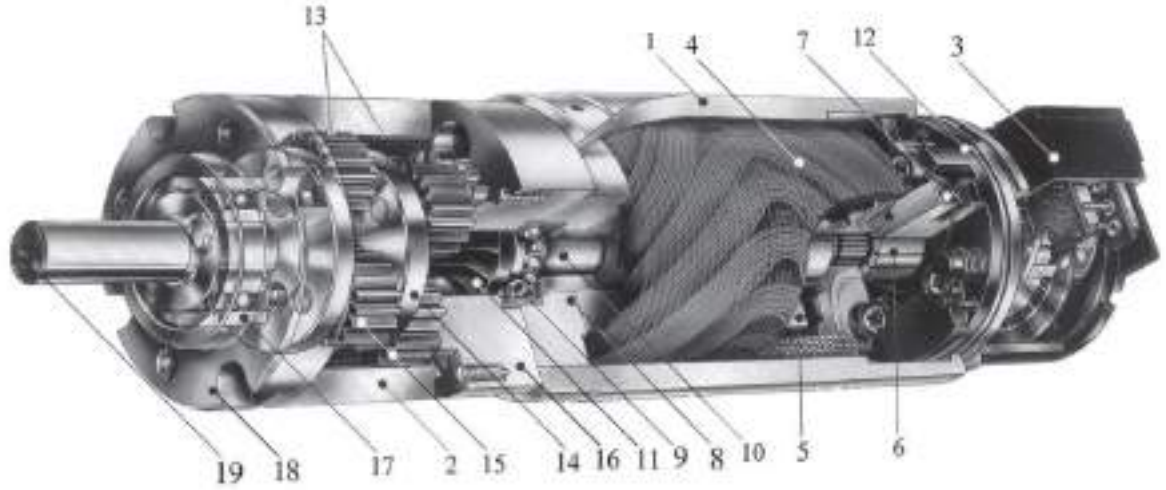


Рис. 1.23. Мехатронный модуль движения фирмы *MAXON*

Он состоит из коллекторного двигателя *1*, двухступенчатого планетарного редуктора *2* и фотоимпульсного датчика положения *3*.

Двигатель включает в себя обмотку *4*, магнит *5*, коллектор *6*, щетки *7*, фланец *8*, подшипник *9*, вал *10*, заканчивающийся вал-шестерней *11*, крышку *12*. Каждая ступень редуктора типа 2К-*H* с одним внешним и одним внутренним зацеплениями имеет два центральных колеса *11* и *13*(первая ступень), водило *14* и сателлиты *15*. Для установки подшипника *9* имеется специальная монтажная плита *16*. Подшипник *17* закреплен во фланце *18* преобразователя движения, через который проходит выходной вал *19*. Фотоимпульсный датчик предназначен для определения положения и перемещения выходного вала.

Важнейшим этапом развития ММД стали разработки модулей типа «*двигатель – рабочий орган*». Такие конструктивные модули

имеют особое значение для технологических мехатронных систем, целью движения которых является реализация целенаправленного воздействия рабочего органа на объект работ. ММД типа «*двигатель – рабочий орган*» широко применяют в шлифовальных и фрезерных станках под названием мотор-шпиндели.

В настоящее время выпускают широкую номенклатуру высокоскоростных прецизионных электро- и пневмошпинделей с частотой вращения 9000… 250000 об/мин, предназначенных для обработки различных металлов и неметаллических материалов шлифованием, фрезерованием, сверлением, а также специального назначения, в том числе для промышленных лазеров. Высокоскоростной шпиндель, используемый в составе металлорежущего станка, должен обеспечивать ряду технических требований, к которым в первую очередь относятся:

- высокая пиковая мощность и мощность постоянного действия;
- максимальная радиальная и аксиальная жёсткость;
- максимальная скорость вращения;
- соответствующая требованиям высокоскоростной обработки (ВСО) система крепления инструмента, часто с возможностью автоматической смены инструмента.

Для каждого конкретного практического приложения должен быть произведён выбор между шпинделем с ременной передачей и моторшпинделем. На рис.1.24 приведен электрошпиндель со встроенным двигателем датчиками и исполнительными элементами для контроля процесса высокоскоростной обработки.

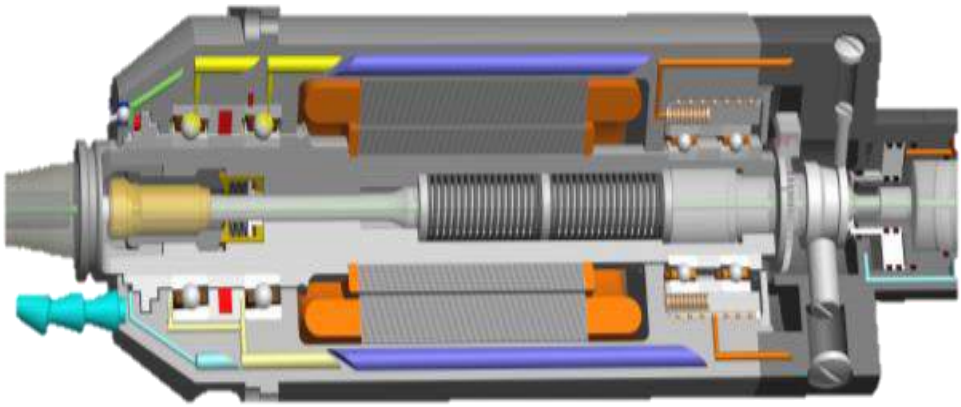


Рис. 1.24. Вид моторшпинделя

Двигатель интегрирован в корпус шпинделя и обеспечивает возможность высоких скоростей вращения без ограничений, обусловленных ременными и зубчатыми передачами. Моторшпиндель состоит из установленного на подшипниках шпиндельного вала, двигателя и системы зажима инструмента. Смазка подшипников перманентная на весь срок службы или воздушно-масляная. Воздушно-масляная смазка позволяет достичь более высокие – на 20% и выше скорости вращения. Мощность электрошпинделя определяется мощностью мотора. Выбор шпинделя для конкретного приложения определяется требованиями станка. В конечном итоге должен быть сделан выбор оптимальной комбинации скорости вращения, мощности, жёсткости и нагрузочной способности.

ММД в виде безредукторного поворотного стола (рис. 1.25) предназначен для обеспечения режимов позиционирования и контурной обработки на фрезерных, сверлильных и расточных станках.

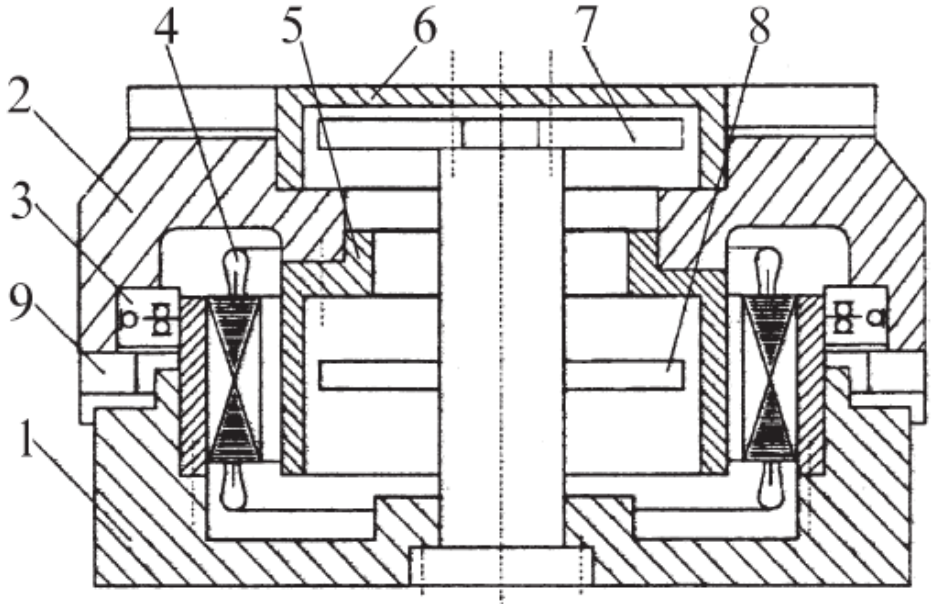


Рис. 1.25. Безредукторный поворотный стол

Стол состоит из основания *1* и собственно поворотного стола *2*, опирающегося на упорные подшипники *3*, встроенного двигателя *4*, ротор *5* которого соединен с планшайбой *6*, датчика *7* положения, датчика *8* скорости и гидротормоза *9*, обеспечивающего фиксацию планшайбы в нужном положении. Безредукторное соединение ротора двигателя с планшайбой позволяет увеличить точность позиционирования

стола и расширить его технологические возможности. Одновременно упрощается конструкция стола, уменьшается число деталей, повышается жесткость.

Мехатронный подход к построению модулей вращательного движения на базе высокомоментных двигателей получил в последние годы свое развитие и в модулях линейного перемещения. Цель проектирования аналогична - исключить механическую передачу из состава ММД. Мехатронные модули движения на основе линейных высокомоментных двигателей (ЛВМД) находят все большее применение в гексаподах, высокоскоростных станках (многоцелевых, фрезерных, шлифовальных), комплексах для лазерной и водоструйной резки, вспомогательном оборудовании (крестовых столах, транспортерах). Традиционные электроприводы линейных перемещений включают в себя двигатель вращательного движения и механическую передачу для преобразования вращения в поступательное движение (шарико-винтовую передачу (ШВП), зубчатую рейку, ленточную передачу и т.п.). С начала 80-х годов известны разработки собственно линейных двигателей, однако из-за низких удельных силовых показателей они имели ограниченную область применения (графопостроители, координатно-измерительные машины) и в автоматизированном оборудовании не могли быть использованы.



Рис. 1.26. Мехатронный модуль с линейным двигателем

Основные преимущества модулей на базе ЛВМД по сравнению с традиционными линейными приводами:

- повышение в несколько раз максимальной скорости движения (до 150-210 м/мин) и ускорения (в перспективе до 5g);
- высокая точность реализации движения;
- высокая статическая и динамическая жесткость.

Вместе с тем имеется ряд проблем при проектировании и внедрении ЛВМД: более высокая стоимость, необходимость использования систем охлаждения ММД (жидкостной или воздушной), относительно невысокий к.п.д. модуля.

1.3. Информационная система и датчики мехатронных и робототехнических систем

Информационная система (ИС) представляет собой совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств, предназначенных для получения измерительной и другой информации, необходимой для нормального функционирования мехатронного или робототехнического устройства, передачи, хранения и преобразования этой информации (в том числе осуществления логических функций контроля, диагностики, идентификации) в целях представления информации потребителю (системе управления или человеку-оператору) в виде, удобном для принятия решения. ИС являются важнейшей составной частью МС и занимают в них особое место: именно они обеспечивают координацию и синхронизацию работы всех других систем. Благодаря ИС объект приобретает новые системные свойства (целостности, организованности, иерархичности структуры), которые не являются простой суммой свойств составляющих систем.

Любая мехатронная или робототехническая система должна иметь возможность контролировать состояние своих подсистем, а также значимые для ее нормального функционирования параметры внешней среды. Такая информация позволяет, например, мобильному роботу следить за своим состоянием, правильно ориентироваться в

окружающем пространстве, выбирать оптимальный маршрут движения и рабочие объекты, своевременно избегать опасных ситуаций (перегрева, опрокидывания, причинения вреда человеку и т.п.). Робот, лишенный возможности получать информацию о состоянии своих подсистем и окружающем пространстве подобен человеку, лишенному не только пяти органов чувств, но информации от многочисленных биологических сенсоров, расположенных, например, в наших суставах (чтобы убедиться в их наличии, закройте глаза и вы без труда сможете описать положение любого сустава руки или ноги!). Чтобы подсистема управления робота смогла принимать адекватные решения, поступающая к ней из внешней среды (от датчиков очувствления) и от блоков самого робота (в том числе и хранящаяся в запоминающих устройствах) информация должна быть достаточно полной и достоверной. При этом, чем выше «интеллектуальный уровень» мехатронной системы, тем в большей степени работа ее подсистемы управления основана на текущей информации, поступающей от датчиков и обрабатываемой в реальном масштабе времени.

Основными процессами, позволяющими ИС получать необходимую информацию, являются обнаружение событий и объектов, измерение их параметров, обработка результатов измерения, в том числе контроль, диагностика, распознавание образов. В соответствии с этим можно классифицировать ИС по составу, выполняемым функциям и уровню интеллектуальности.

По мере развития ИС качество получаемой с их помощью информации и расширение функциональных возможностей все чаще связывается с их интеллектуализацией. При этом понятие интеллектуальности непосредственно связано с наличием процессора и программной части. Именно переход к созданию процессорных ИС явился главным шагом по формированию предпосылок для появления интеллектуальных ИС.

Однако само наличие процессора и программной части еще не определяет уровня интеллекта ИС. За основу определения этого уровня примем следующее положение: уровень интеллекта обусловливается

возможностями использования априорной (банк знаний и банк данных) и текущей информации для синтеза и выполнения алгоритмов, характеризующихся наилучшим для принятых условий и ограничений метрологическим качеством результатов измерений и синтезированной на их основе управляющей информации. В ИС низших уровней развития процессы измерения и обработка их результатов производится по заранее заданным алгоритмам. В высокоразвитых ИС в той или иной степени используется искусственный интеллект.

Информационные устройства и системы, как и органы чувств человека, предназначены для сбора информации о состоянии внешней среды и внутреннем состоянии робота. В качестве ее элементов используются телевизионные, светолокационные, ультразвуковые, тактильные и другие датчики. Функционально органы очувствления роботов (мехатронных систем) датчики – можно подразделить на два основных класса: датчики внутреннего состояния и датчики внешнего состояния (Рис.1.27). Основное назначение средств очувствления МС состоит в том, чтобы существенно снизить объем необходимой априорной информации. Кроме того, их включение в состав систем управления позволяет существенно упростить процедуру обучения МС, повысить динамическую точность и быстродействие исполнительных органов. Представим, что перед нами робот, перемещающий деталь из кассеты на сборочный стол и работающий по жесткой программе (без датчиков). Если детали не будет в том месте, откуда робот должен ее взять, он все равно сделает хватательное движение и будет перемещать пустой схват в место назначения на рабочем столе. Если на пути движения руки такого робота встретится препятствие, движение руки не будет остановлено (что может привести к поломке робота или повреждению препятствия). Робот, снабженный датчиками очувствления, сможет взять деталь, даже, если она находится не точно в заданном месте или иначе ориентирована, при движении рука робота остановится перед препятствием, т. е. очувствленный робот учитывает изменения внешней среды и корректирует свои действия в соответствии с этими изменениями.



Рис. 1.27. Классификация информационных устройств и систем используемых в мехатронике и промышленных роботах

В зависимости ***от принципа действия*** датчики с электрическим выходным сигналом можно разделить на две группы: ***генераторные*** или активные и ***параметрические*** или пассивные. В генераторных датчиках преобразование измеряемой величины осуществляется непосредственно в электрический сигнал (т.е. такие датчики генерируют электрическую энергию). К ним, например, относятся пьезоэлектрические, индукционные, фотоэлектрические (использующие появление

ЭДС в полупроводниковом pn-переходе при его освещении), термоэлектрические. В **параметрических** датчиках измеряемая величина преобразуется в параметр электрической цепи – сопротивление, индуктивность, емкость и т.п., причем для питания датчика необходим источник электрической энергии. К таким датчикам, например, относятся емкостные, индуктивные, электроконтактные, потенциометрические, тензорезисторные.

По используемым ***физическим явлениям и эффектам*** можно выделить следующие виды датчиков, получивших наибольшее распространение в ИС мехатронных устройств: тензорезисторные (для измерения усилий, давлений, моментов, малых перемещений, ускорений и пр.), реостатные (для измерения усилий, давлений, перемещений, линейных и угловых скоростей и ускорений), индуктивные и индуктивно-трансформаторные (для измерения усилий, давлений, линейных перемещений), индукционные (для измерения линейных и угловых скоростей), пьезоэлектрические (для измерения вибраций, динамических усилий, давлений), емкостные (для измерения линейных и угловых перемещений, давлений, состава вещества), магнитоупругие (для измерения усилий, давлений, моментов), фотоэлектрические (для измерения линейных и угловых перемещений, линейных и угловых скоростей, положения объектов, линейных размеров и пр.).

Для измерения угловых перемещений чаще всего применяются потенциометрические датчики, преобразующие угол поворота в напряжение. Точность прецизионных потенциометров может достигать 0,01-0,05 %, разрешающая способность – 0,05-0,01 %. С повышением разрешающей способности потенциометра, как правило увеличиваются его габариты, которые для большинства прецизионных потенциометров колеблются в следующих пределах: диаметр 60-150 мм, высота 50-90 мм. Малые габариты и очень высокую разрешающую способность имеют многооборотные спиральные потенциометры.

Основные недостатки потенциометрических датчиков заключаются в износе проволоки и щётки, ограниченной разрешающей способности и низкой чувствительности по напряжению. От этих недостатков свободны трансформаторные преобразователи угловых перемещений. Наибольшее распространение имеют вращающиеся трансформаторы и сельсины, позволяющие получать напряжения переменного тока, про-

порциональные тригонометрическим функциям угла поворота или самому углу. Следует отметить, что однозначная зависимость выходного напряжения у них в функции угла поворота ограничена интервалом 0-π. Недостатком трансформаторных преобразователей является сравнительно низкая точность воспроизведения функции угла поворота, не превышающая в большинстве случаев 0,1-0,2%.

Для измерения линейных перемещений можно использовать как потенциометрические, так и индуктивные датчики. Использование индуктивных датчиков для непосредственного измерения перемещения возможно только при движении подвижного звена в пределах 80-100мм. Для повышения точности измерения обычно применяют датчики дифференциального типа с двумя катушками. Основной недостаток этих датчиков заключается в нелинейности их характеристик, что и затрудняет их использование для измерения значительных перемещений. для измерения линейных и угловых перемещений можно использовать счётные датчики, т.е. датчики, у которых выходная величина представляется числом импульсов. В тех случаях, когда требуется различать направление измерения измеряемой величины, применяют двухфазную систему воспринимающих элементов. Наряду с измерением угловых и линейных перемещений часто необходимо иметь информацию, о различного рода деформациях и механических напряжениях. Для измерения относительных деформация в пределах 0,005-1,5 % обычно используются проволочные тензометры на бумажной основе, а также фольговые и плёночные тензосопротивлеия. Тензосопротивления практически безинерционны и могут применяться в диапазоне частот от 0 до 100 кГц. Рядом преимуществ перед подобными тензосопротивлениями обладают полупроводниковые тензодатчики: очень малые размеры (до 1 мм), высокая тензочувствительность (на 2 порядка выше, чем у проволочных тензометров), высокий уровень выходного сигнала. Полупроводниковые тензосопротивлеия могут иметь как положительный, так и отрицательный коэффициент тензочувствительности, т.е. при деформации из сопротивление может увеличиваться, и уменьшаться. К их недостаткам следует отнести изменение коэффициента тензочувствительности в зависимости от уровня деформации, температуры, удельного сопротивления материала.

Поскольку ИС мехатронного устройства предназначена для получения и обработки информации о состоянии **как самого мехатронного устройства**, так и **внешней среды**, в состав ИС входят датчики ***внутренней*** и ***внешней информации.***

Датчики внутренней информации служат для измерения величин, характеризующих внутреннее состояние МС, т.е. для определения положений и скоростей перемещения исполнительных органов, усилий в их звеньях, а также параметров внутренней среды, обеспечивающей нормальное функционирование устройства. Датчики внешней информации предназначены для контроля наличия, формы, положения и ориентации в пространстве объектов манипулирования, свойств внешней среды и параметров возмущений, влияющих на функционирование МС в этой среде.

По способности воспринимать информацию на различных расстояниях от ее источника средства очувствления могут быть условно разделены на **бесконтактные и контактные**

Бесконтактные средства очувствления, оперирующие с геометрическими характеристиками объектов внешней среды, включают два класса устройств: системы технического зрения и локационные системы очувствления.

Средства очувствления контактного действия, которые измеряют действующие на манипулятор силы и моменты, а также фиксируют координаты точек их приложения, представлены системами силомоментного и тактильного очувствления [6]. Создание силомоментных систем вызвано необходимостью измерения сил и моментов в процессе взаимодействия схвата или инструмента с объектом манипулирования при выполнении, например, механической обработки, абразивной зачистки и шлифовки изделий. Применение силомоментных систем очувствления позволяет автоматизировать указанные технологические операции при минимуме затрат на разработку и создание дополнительного оборудования, например, конвейеров и позиционеров, обеспечивающих высокую точность начальной установки собираемых деталей. Эти же системы очувствления могут быть с успехом использованы также и для решения многих манипуляционных задач, особенно при работе с жесткими деталями, когда незначительные погрешности позиционирования могут вызвать большие усилия, которые трудно проконтролировать другими средствами.

Силомоментные системы очувствления состоят из датчика и устройства предварительной обработки информации. В общем случае они обеспечивают измерение трех проекций силы и трех проекций векторов моментов, возникающих при взаимодействии схвата или инструмента с обрабатываемой деталью. Датчики силомоментного очувствления размещают либо непосредственно на губках схвата, либо между последним звеном манипулятора и схватом.

Бесконтактные средства очувствления. Системы технического зрения (СТЗ) представляющие собой бесконтактный тип систем очувствления, находят широкое применение в промышленном производстве на операциях распознавания и сортировки деталей, разборки деталей из навала, для измерения координат движущихся деталей, подлежащих захватыванию, определения положения характерных точек в ориентации деталей на сборочных участках, контроля качества обработки или покрытия поверхностей деталей и т. п. Локационные системы очувствления используют для измерения координат изделия в тех случаях, когда применение СТЗ нецелесообразно или невозможно. Посредством локационных датчиков обеспечивается измерение таких параметров, как расстояние до объектов, скорость движения, размеры объектов, обнаружение препятствий, а также исследование механических, электрофизических, акустических и других параметров объектов. В качестве дополнительных параметров измерения могут выступать зазоры, перекосы, проскальзывания наличие внутренних дефектов, толщина материала или покрытия, площадь, ориентация и другие. Локационные системы также применяют для простейшего распознавания деталей, имеющих различную отражательную способность, в качестве датчиков безопасности для предотвращения столкновения подвижных частей манипулятора с предметами и людьми, случайно оказавшимися в зоне обслуживания. Установка локационных датчиков на схвате манипулятора может обеспечить, например, возможность точного слежения сварочной головки за траекторией шва, а также позволяет захватывать и устанавливать изделия на подвесном или ленточном конвейерах.

Ультразвуковые локационные системы в основном они используются для определения местоположения мобильных роботов и обеспечения безопасности движения тележек внутрицехового транспорта. Работа таких систем основана на способности упругих волн высокой частоты (выше 20 кГц) распространяться в жидких, газообразных и твердых

средах и отражаться от неоднородностей или границ раздела этих сред. Наиболее часто используются эхометод и метод, использующий эффект Доплера.

Эхометод основан на излучении в среду коротких акустических импульсов и приеме эхосигналов от неоднородностей среды или находящихся в ней предметов. Этот метод используется для обнаружения предметов, измерения расстояний и перемещений, его также используют в ультразвуковых системах технического зрения (например, медицинская аппаратура для ультразвукового исследования, которая позволяет видеть на экране монитора состояние внутренних органов человека) [6]. Создаваемые излучателем короткие импульсы (длительностью около 1 мс), промодулированные ультразвуковой частотой (40 кГц), посылаются в направлении исследуемого объекта. Отраженные импульсы улавливаются приемником ультразвуковых сигналов, и после преобразования в электрический сигнал и усиления обрабатываются процессором. Процессор выделяет полезный сигнал среди помех и вычисляет расстояние L до исследуемого объекта в соответствии с формулой $L=(V \cdot t)/2$, где V – скорость распространения звуковой волны в данной среде; t – промежуток времени, прошедший между моментом появления переднего фронта излучаемого импульса и моментом прихода переднего фронта отраженного импульса на приемник.

В качестве излучателя и приемника обычно используется керамический пьезоэлектрический или магнитострикционный преобразователь. Чаще всего это один и тот же элемент (т. к. пьезоэлектрический и магнитострикционный эффекты являются обратимыми), поочередно подключаемый быстродействующим коммутатором в промежутках между импульсами то к каналу излучения, то к измерительному каналу. В качестве пьезоэлектрических ультразвуковых преобразователей часто используются пластины пьезокерамики ЦТС-19.

Локационные системы, использующие эффект Доплера, помимо расстояния позволяют определять также составляющую скорости V_O перемещения объекта, направленную вдоль оси излучатель-объект. Напомним, что эффект Доплера заключается в изменении частоты звуковых (или электромагнитных) волн, регистрируемых приемником, в зависимости и от направления и величины взаимного перемещения объекта и приемника. При их сближении наблюдается увеличение частоты, при удалении друг от друга – уменьшение.

Акустические локационные системы обеспечивают измерение расстояний и скоростей перемещения объектов в воздухе и в воде. Такие системы используются, например, автоинспекторами для фиксации превышения скорости автомобилей, рыбопромысловыми судами для нахождения косяков рыб, подводными лодками для определения удаления, скорости и направления движения подводных объектов.

Наряду с ультразвуковыми используются и оптические локационные системы, однако из-за высокой скорости распространения оптического излучения, описанные выше методы используются главным образом для определения расстояний, превышающих несколько метров.

Контактные средства очувствления. Для установления факта касания детали губками схвата или другими частями манипулятора служат контактные датчики тактильного типа. Они расположены на внутренних и внешних поверхностях схвата и в тех местах звеньев манипулятора, которые могут войти в соприкосновение с объектами окружающей среды. Кроме регистрации самого факта соприкосновения они могут измерять величину контактного давления и определять наличие проскальзывания между соприкасающимися частями схвата и объекта. Информация о проскальзывании необходима для управления силой сжатия схвата и поддержания ее на таком минимальном уровне, при котором объект еще надежно зажат и в то же время сила сжатия недостаточна для его разрушения. На рис. 1.28 представлен вихретоковый датчик проскальзывания. Здесь обозначено: 1 – палец схвата, 2 – металлический пустотелый обрезиненный валик, 3 – постоянный магнит, 4 – катушка с проводом. При проскальзывании зажатой пальцами схвата детали металлический цилиндр проворачивается. Наводимые в нем вихревые токи ослабляют магнитный поток, воздействующий на катушку с проводом, в результате чего в ней наводится ЭДС. Вихретоковый датчик может давать сигнал не только о проскальзывании, но также о приближении стальной детали к пальцам схвата и о касании детали пальцами. Такой датчик отличается простотой конструкции, безынерционностью, способностью работать в условиях цеховой загрязненности и агрессивных сред, высокой механической прочностью чувствительного элемента и возможностью использования длинных кабельных линий связи с вторичной аппаратурой.

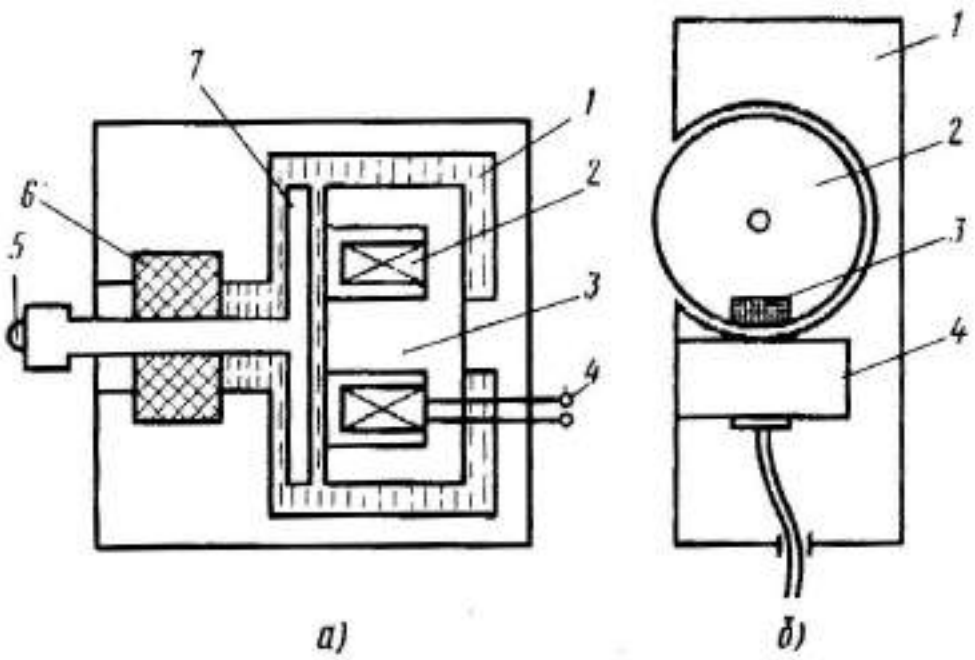


Рис. 1.28. Вихретоковый датчик проскальзывания

Преобразование сил, возникающих при физическом контакте схвата с объектом, в электрический сигнал может осуществляться силомоментными датчиками двумя путями. Первый из них заключается в **непосредственном измерении** упругих деформаций чувствительных элементов датчиков. Наиболее часто для этого применяют тензорезисторные, пьезоэлектрические и магнитоупругие датчики. Второй способ заключается в **измерении перемещений калиброванных пружин** датчика, деформируемых под действием измеряемой величины в процессе контакта схвата с объектом. При этом используют емкостные и электромагнитные (главным образом индуктивные) датчики**.** Измерение упругих деформаций с помощью **тензорезисторных** датчиков – наиболее распространенный метод. Полупроводниковые и металлические тензорезисторы имеют широкую номенклатуру, что позволяет использовать их в тактильных и силомоментных датчиках. В основе работы тензорезисторов лежит явление тензоэффекта, заключающееся в изменении активного сопротивления проводников при их механической деформации. В известной формуле для величины сопротивления проводника $R=(\rho \cdot l)/S$, где ρ – удельное электрическое сопротивление материала, S – площадь поперечного сечения при возникновении механических деформаций могут изменяться все три параметра (ρ, l и S).

Тензорезисторы представляют собой решетку из проволоки или фольги (рис. 1.29), наклеенную на специальную подложку, которая, в свою очередь наклеивается на упругий элемент, деформации в котором исследуются. Тензорезисторы имеют простую конструкцию, легко монтируются на упругих элементах тактильных или силомоментных датчиков.

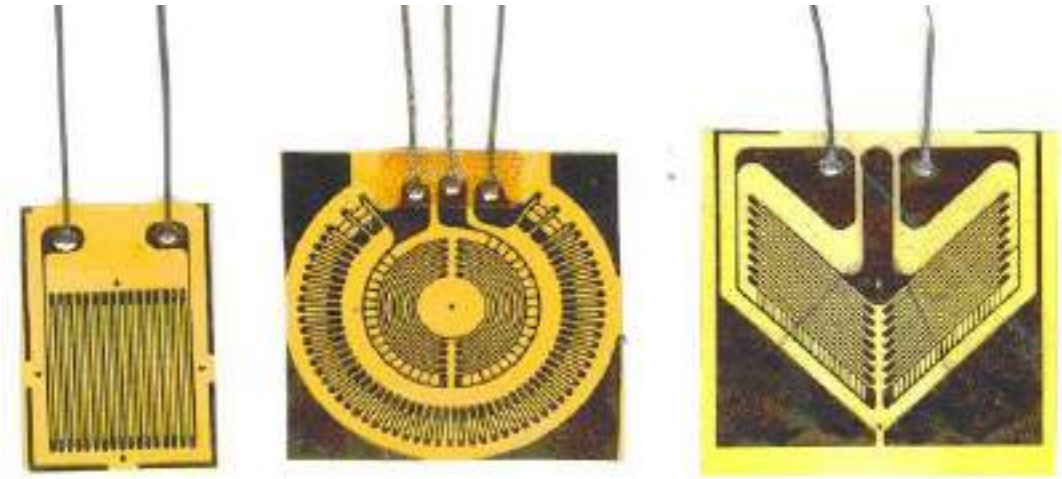


Рис. 1.29. Виды тензорезисторов

Одна из наиболее распространенных и давно применяемых конструкций упругого элемента трехкомпонентного тензорезистивного датчика – крестообразный упругий элемент (рис. 1. 30).

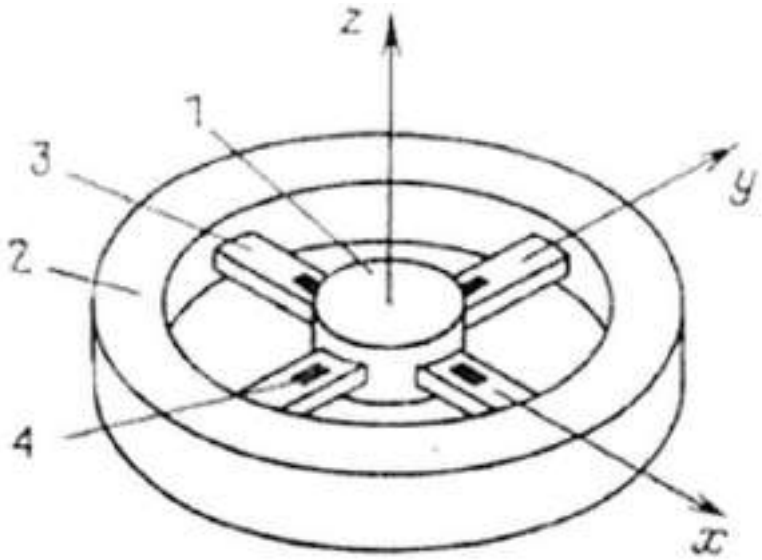


Рис. 1.30. Крестообразный упругий элемент

Два жестких фланца, внутренний 1 и внешний 2, соединены посредством четырех упругих балок 3. Четыре пары тензорезисторов 4, наклеенных на противоположные грани каждой балки, включены в четыре полумоста. Такой датчик чувствителен к осевому усилию F_z и двум боковым моментам M_x и M_y, действующим в плоскости датчика.

Внешний вид тензодатчика представлен на рис. 1.31.



Рис. 1.31. Внешний вид тензодатчика

Датчик оснащен 4 тензорезисторами, включенными по мостовой схеме. Максимальное измеряемое усилия 20 кН, класс точности 0,5, рабочая температура: -10... +70 °С, перегрузочная способность 1000%. Основным недостатком тензорезистивных датчиков является низкая чувствительность. Тензочувствительные элементы выполняются также на основе легированного кремния. Чувствительность полупроводниковых тензодатчиков гораздо выше, чем проволочных или фольговых, однако они обладают меньшей температурной стабильностью. Для непосредственного измерения упругих деформаций могут быть использованы также **пьезоэлектрические** датчики, действие которых основано на измерении заряда, пропорционального внутренним механическим напряжениям растяжения-сжатия или сдвига, вызванными измеряемым усилием. Типичные датчики усилия представляют собой кварцевые или пьезокерамические шайбы, установленные в цилиндрическом корпусе. Силораспределительный элемент обеспечивает равно-

мерное распределение измеряемой нагрузки по площади хрупких кварцевых или керамических шайб, что предохраняет их от возможного растрескивания и позволяет увеличить диапазон измеряемых усилий. При приложении (или снятии) механического усилия на плоских поверхностях шайб образуются электростатические заряды. Кварцевые датчики, хотя и менее чувствительны, чем пьезокерамические, обладают высокой стабильностью свойств.

Пьезоэлектрический акселерометр ВТК1 фирмы «Пьезо» (рис. 1.32) обладает следующими параметрами.

Таблица 1.1 - Основные параметры датчика ВТК 1

Диапазон измерения виброускорений, $мс^{-2}$	0.5 … 1400
Диапазон частот, Гц	5 … 30000
Максимальное значение неразрушающего удара, g	
Диапазон рабочих температур, °С	- 60+ 250
Дополнительная погрешность, вызванная изменением температуры окружающей среды %/°С, не более	0,1
Емкость датчика, пФ	
Сопротивление изоляции при 20°С, Ом	10^{13}
Габаритные размеры, мм	Ø22 х 27
Масса датчика (без кабеля), г	
Пьезоэлектрический материал	тип 850, APC



Рис. 1.32. Пьезоэлектрический акселерометр ВТК1

Достоинствами пъезодатчиков являются простота конструкции, малые размеры, надежность в работе, прекрасные динамические свойства, способность работать при высоких температурах (до 250°С). Погрешность пьезоэлектрических датчиков – до 1 %. К тому не нужно же пьезоэлектрические датчики являются генераторными, т. е. к ним подводить питающее напряжение. Однако заряды на чувствительных элементах пьезоэлектрического датчика образуются только при изменении измеряемого усилия. Если это усилие некоторое время остается постоянным, заряды достаточно быстро стекают даже через большое сопротивление изоляции. Это является основным недостатком пьезоэлектрических датчиков. Поэтому их целесообразно использовать в тактильных системах, которые регистрируют факт наличия касания и мгновенное значение контактной силы, а также для измерения динамических усилий и вибраций. Работа магнитоупругих датчиков основана на эффекте магнитоупругости, заключающемся в изменении магнитной проницаемости ферромагнитного материала под действием механических напряжений. На рис. 1.33 схематически показан наиболее распространенный вариант конструкции магнитоупругого датчика - магнитоанизотропный датчик.

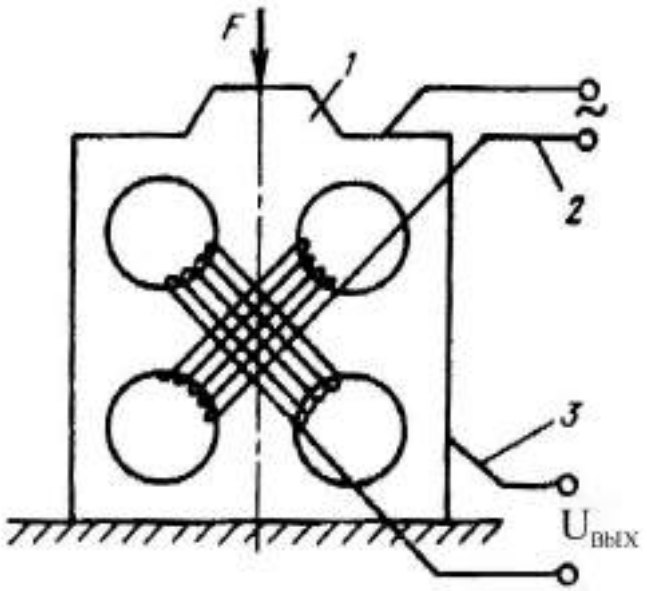


Рис. 1.33. Магнитоанизотропный датчик

В магнитопроводе из ферромагнитного материала, обладающего достаточной магнитоупругой чувствительностью, имеются 4 сквозных отверстия, через которые намотаны первичная обмотка 2, питаемая переменным током повышенной частоты, и вторичная (измерительная) обмотка 3. Плоскости обмоток образуют между собой угол 90°, а с направлением измеряемого усилия F – угол 45°. При отсутствии измеряемого усилия вектор магнитного потока, создаваемого первичной обмоткой, перпендикулярен плоскости витков вторичной обмотки, силовые линии этого потока не пересекают витков обмотки 3, поэтому наводимая в ней ЭДС равна нулю. При приложении измеряемого усилия F (показано стрелкой) в материале магнитопровода возникают механические напряжения, направленные вдоль вертикальной оси. Это вызывает появление магнитной анизотропии (т. е. различных магнитных свойств материала вдоль направления действия измеряемого усилия и поперек него: например, в вертикальном направлении магнитное сопротивление магнитопровода немного возрастает). Магнитный поток Ф стремиться замкнуться по пути с меньшим магнитным сопротивлением, благодаря чему вектор Ф слегка поворачивается по часовой стрелке, и часть силовых линий начинает пересекать витки вторичной обмотки. Это приводит к появлению в ней ЭДС e_2, пропорциональной измеряемому усилию.

В емкостных, электромагнитных (гл. образом индуктивных) и оптических датчиках часто используется предварительное преобразование измеряемой величины в перемещение калиброванной пружины. Емкостные датчики используют зависимость емкости конденсатора от изменения его параметров под действием измеряемой величины. В качестве емкостного преобразователя широко используют плоский конденсатор, емкость которого описывается известной формулой $C= \varepsilon_0 \varepsilon S/\delta$, где ε_0 – диэлектрическая постоянная вакуума ($8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м), ε - относительная диэлектрическая проницаемость среды между обкладками конденсатора, S – площадь обкладки, δ – расстояние между обкладками. Измеряемая неэлектрическая величина может быть функционально связана с любым из этих параметров. Внешний вид емкостного датчика перемещения показан на рис. 1.34.



Рис. 1.34. Вид емкостного датчика перемещения

Потребность во все более легких и простых конструктивных решениях вызвала появление интегрированных узлов, например, подшипников со встроенными датчиками для регистрации количества оборотов, частоты вращения, направления вращения, относительного положения, величины ускорения. Такие подшипники (рис. 1.35) являются мехатронными компонентами машин, созданными на грани инженерных исследований в области датчиков и подшипников. Корпус датчика, сенсорное кольцо и подшипник механически соединены друг с другом и формируют единый, готовый к установке узел. Подшипники со встроенным датчиком SKF специально предназначены для работы в качестве шаговых шифраторов, дающих информацию для управления работой двигателей различных механизмов.

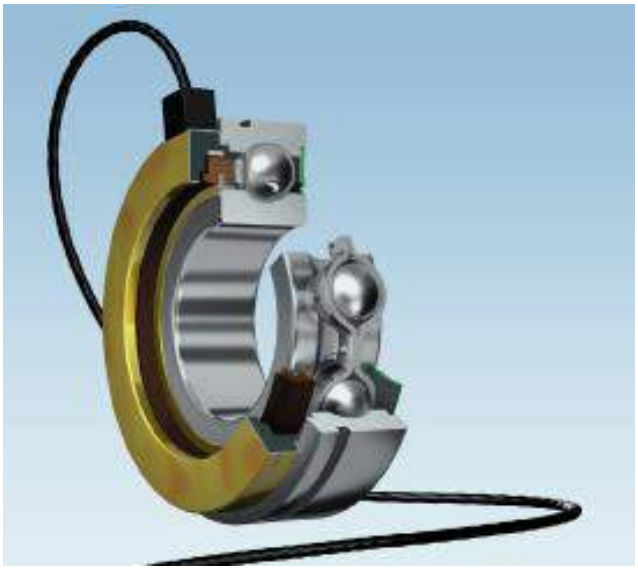


Рис. 1.35. Пример конструкции подшипника
со встроенными датчиками

1.4. Системы управления и приводы мехатронных и робототехнических устройств

Задача управления мехатронным и робототехническим устройством состоит в исполнении желаемого движения рабочего органа, который целенаправленно действует на объект работ, испытывая при этом со стороны внешней среды возмущающее воздействие. Следовательно, в общем случае объектом управления в мехатронике является сложная многосвязная система, в состав которой входят:

- комплекс исполнительных приводов;
- механическое устройство с рабочим органом;
- блок сенсоров;
- объект работ, с которым взаимодействует рабочий орган.

При этом отдельные блоки и устройства могут быть интегрированы в мехатронные модули. Включение в рассмотрение процесса взаимодействия рабочего органа и внешних объектов (например, для операций сборки, механообработки, водоструйной резки) позволяет организовать технологически ориентированный процесс управления, учитывающий характер и специфику данного взаимодействия в конкретно поставленной задаче. Указанная структура объекта управления определяет требования и постановку задачи управления мехатронными системами рассматриваемого класса. Очевидно, что воспроизведение заданных движений мехатронными модулями и роботами основывается на выполнении классических требований теории управления: устойчивости, точности и качества процесса управления. Однако дополнительно необходимо учитывать следующие специфические особенности мехатронных систем:

1. Движение рабочего органа как конечного управляемого звена обеспечивается взаимосвязанными (кинематически и динамически) перемещениями нескольких исполнительных приводов и звеньев механического устройства.

2. Задача управления мехатронной системой должна быть решена в пространстве (т. е. найдены оптимизированные траектории движения всех звеньев, включая рабочий орган) и во времени (т. е. определены и

реализованы желаемые скорости, ускорения и развиваемые усилия для всех приводов системы).

3. Для многих технологических задач параметры внешних и возмущающих воздействий, приложенных к рабочему органу и отдельным мехатронным модулям, заранее не определены.

4. Сложность построения адекватных математических моделей мехатронных систем традиционными аналитическими методами (особенно прецизионных многосвязных систем, включающих динамическую модель технологического процесса).

Структурно мехатронные и робототехнические системы являются многомерными и многосвязными системами. Размерность задачи управления в мехатронике определяется числом независимо управляемых приводов системы. В случае общего механизма исходно задается желаемое движение рабочего органа, а реализуется оно совокупными перемещениями всех звеньев.

Отсюда возникают специальные математические, алгоритмические и технические задачи управления. Для планирования заданного движения мехатронной системы необходимо решить обратную задачу о положении механизма. Суть данной задачи состоит в определении требуемых перемещений звеньев системы по заданному закону движения рабочего органа. Проблемным является вопрос организации обратных связей при управлении многозвенными мехатронными системами. Технически наиболее просто устанавливать датчики положения и скорости в приводных модулях. Однако затем необходимо вычислить в реальном времени фактическое перемещение рабочего органа. Причем этот компьютерный расчет требует построения адекватной динамической модели системы с учетом весьма сложных для аналитической оценки факторов:

- всех действующих сил (управляющих моментов приводов, сил трения и диссипации, внешних сил и моментов, центробежных и кориолисовых сил);
- первичных погрешностей системы (упругих деформаций звеньев, люфтов в механических передачах, погрешностей изготовления

и сборки, узлов), которые определяют ее интегральные точностные характеристики в текущей конфигурации;

• переменных параметров объекта управления (приведенных моментов инерции и масс механизма и нагрузки).

Поэтому наилучшим вариантом с точки зрения достоверности получаемой информации о фактическом движении является установка датчиков непосредственно на рабочий орган. Примерами такого подхода могут служить:

• применение систем технического зрения для определения положения рабочего органа и объектов в рабочей зоне (например, на сборочных операциях);

• установка силомоментных датчиков в запястье манипулятора для измерения действующих сил на операциях механообработки;

• использование блоков акселерометров для определения линейных ускорений непосредственно рабочего органа при быстрых транспортных перемещениях.

• повышенные показатели гибкости, робастности и точности управления.

В современных мехатронных системах выделяются четыре уровня управления: интеллектуальный, стратегический, тактический и исполнительный (рис. 1.36). ***Интеллектуальный уровень*** – высший уровень управления в системе. Назначение этого уровня – принятие решений о движении механической системы в условиях неполной информации о внешней среде и объектах работ. Например, рассмотрим ситуацию, когда мобильный робот при движении в трубопроводе получает информацию от системы технического зрения о наличии препятствия. Возможные следующие постановки задачи движения:

• остановить движение и вернуться в исходную позицию;

• определить тип и характеристики препятствия и убрать обнаруженный объект;

• продолжить исполняемое движение, игнорируя наличие внешнего объекта.

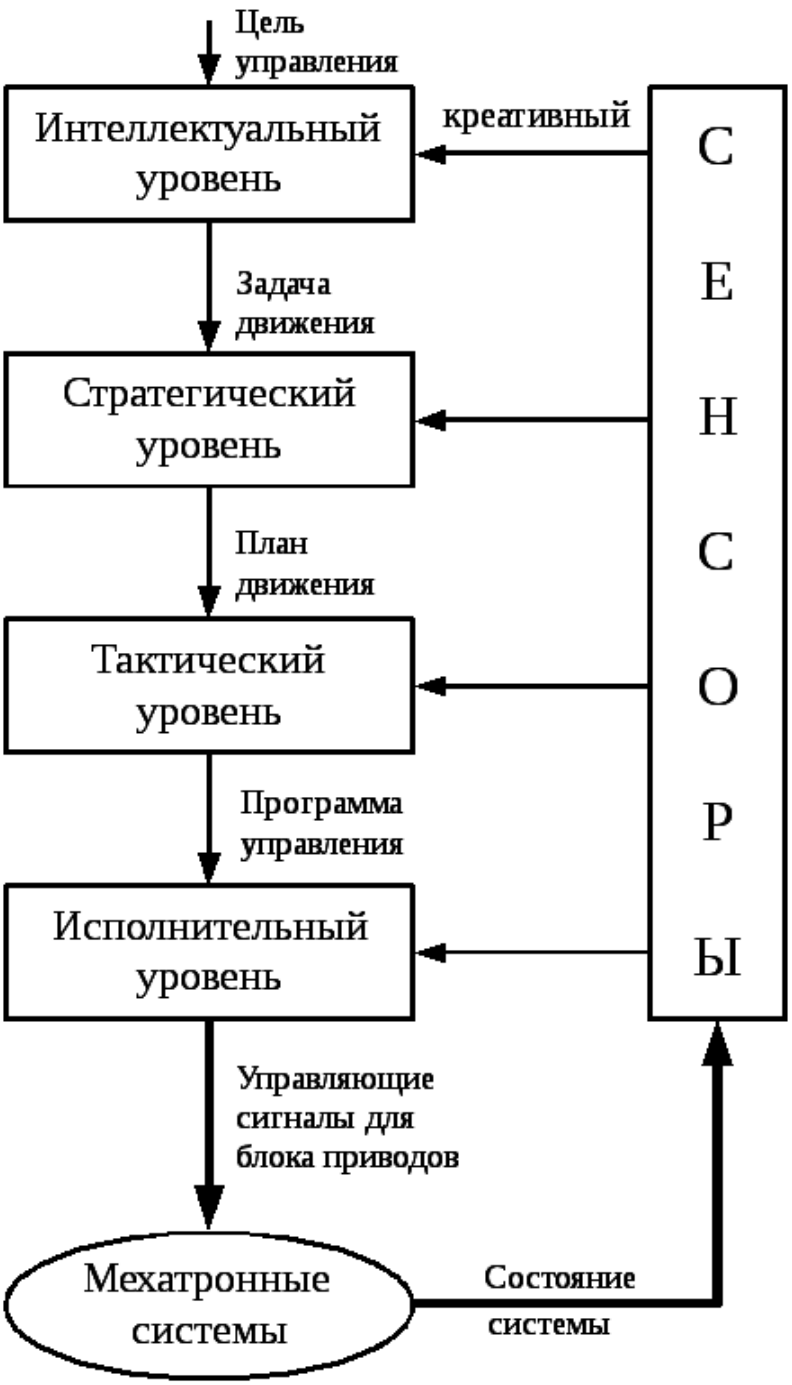


Рис. 1.36. Уровни управления в мехатронных системах

Функции интеллектуального уровня в современных мехатронных системах обычно выполняет человек – оператор либо мощный компьютер верхнего уровня управления***. Стратегический уровень*** управления предназначен для планирования движений мехатронной системы. Планирование движений предполагает разбиение задачи движения, поставленной интеллектуальным уровнем, на последовательность согла-

сованных во времени элементарных действий и формализацию целей управления для каждого из этих действий. Примерами элементарных действий мобильного робота может служить:

- вывод рабочего органа в заданную позицию;
- захват предмета;
- тестовое движение для определения сил реакции со стороны объекта;
- транспортировка объекта и возвращение робота в исходную позицию.

Формализация целей управления означает, что для каждого из элементарных действий должны быть записаны математические соотношения, выполнение которых обеспечивает успешное выполнение действия. Для технологических роботов на стратегическом уровне решается задача геометрического планирования движения рабочего органа. Стратегический уровень выдает информацию о плане движения и целях управления в форме команд управления движением. Важно подчеркнуть, что структура и форматы языков управления движением существенно отличаются от универсальных языков программирования (типа C++, Паскаль и т. п.), хотя отдельные операторы могут совпадать (например, операторы задания цикла и логические функции). ***Тактический уровень*** выполняет преобразование команд управления движением, поступающих со стратегического уровня управления, в программу управления, которая определяет законы согласованного движения во времени всех звеньев механического устройства с учетом технических характеристик блока приводов (в первую очередь ограничений на обобщенные скорости, ускорения и силы).

На тактическом уровне необходимо определить обобщенные координаты манипулятора, которые соответствуют желаемым декартовым координатам характеристической точки схвата. Для этого должна быть решена обратная задача о положении манипулятора. Для управления скоростью движения программа управления строится как результат решения обратной задачи о скорости рабочего органа. Для реализации данных алгоритмов устройство компьютерного управления должно выполнять в реальном времени следующие основные функции:

- прием информации от стратегического уровня в форме команд управления движением;
- прием и обработку информации от датчиков положения манипулятора о текущей конфигурации для расчета элементов матрицы Якоби;

• обращение матрицы Якоби;

• умножение обратной матрицы Якоби на вектор-столбец программной скорости рабочего органа;

• выдачу программы управления на исполнительный уровень.

Исполнительный уровень управления предназначен для расчета и выдачи управляющих сигналов на блок приводов мехатронной системы в соответствии с программой управления с учетом технических характеристик силовых преобразователей. Для иерархических систем управления в мехатронике действует принцип, согласно которому по мере продвижения от высших к низшим уровням управления понижается интеллектуальность системы, но повышается ее точность. При этом под «интеллектуальностью» понимается способность системы приобретать специальные знания, позволяющие уточнить поставленную задачу и определить пути ее решения, а под «неточностью» – неопределенность в операциях по решению данной задачи.

Контроллеры движения являются устройствами управления исполнительного уровня согласно принятой иерархии управления движением мехатронных систем. Назначение устройства управления состоит в обеспечении заданных требований по устойчивости, точности и качеству переходных процессов в системе при достижении цели управления движением, которая поступает с тактического уровня управления. При этом необходимо учитывать специфику мехатронных объектов управления. Структурная схема системы управления движением, реализуемая типовым контроллером, представлена на рис. 1.37.

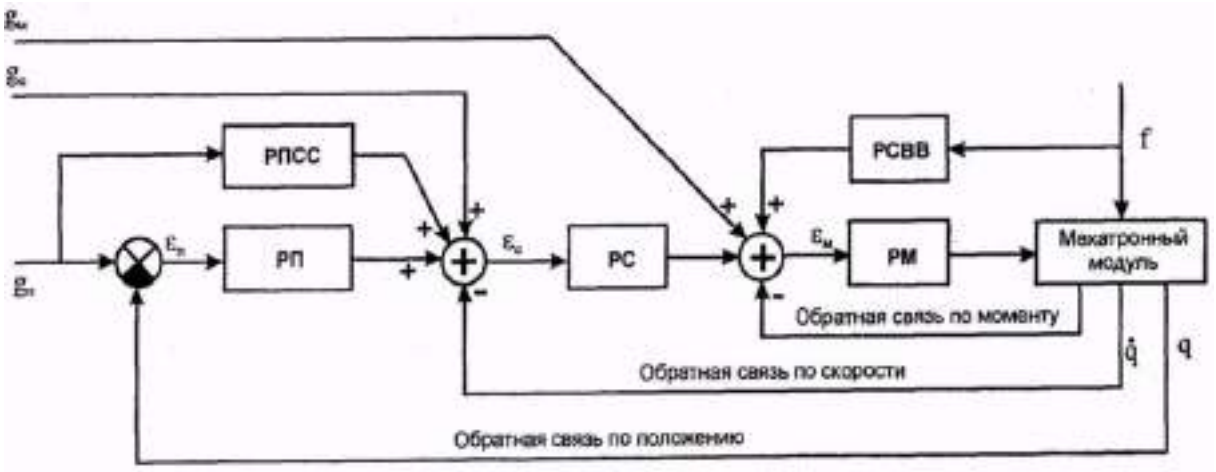


Рис. 1.37. Структурная схема системы управления движением

В состав системы входят пять основных регуляторов: регулятор положения (РП), регулятор скорости (РС), регулятор момента сил или силы (РМ), регулятор прямой связи по скорости изменения управляющего воздействия (РПСС) и регулятор корректирующей связи по возмущающему воздействию (РСВВ). Входными воздействиями для системы могут быть в зависимости от поставленной цели управления управляющие сигналы по положению $q_П$, скорости $q_С$, либо по развиваемому усилию $q_м$. В системе реализуется принцип замкнутого управления, что предусматривает наличие соответствующих обратных связей по фазовым координатам системы. Наиболее общим является алгоритм ПИД-регулирования. Традиционный подход предусматривает, что структура и коэффициенты всех корректирующих устройств определяются при проектировании системы и далее остаются фиксированными в процессе ее эксплуатации. В современных системах управления вид и параметры регуляторов автоматически модифицируются в зависимости от цели конкретного движения и условий, в которых оно фактически осуществляется. Это позволяет адаптировать (приспособить) движение мехатронной системы к начальной неопределенности и изменяющимся условиям работы. Адаптивная настройка регуляторов необходима, если введенные отрицательные обратные связи в исполнительных приводах не способны парировать влияние возмущающих воздействий и изменения параметров (и, возможно, структуры) объекта управления, которые вызывают недопустимое снижение показателей качества управляемого движения. Адаптивные регуляторы по сравнению с традиционными имеют существенно более сложную структуру и техническую реализацию, их проектирование требует решения целого ряда теоретических проблем управления. На рис. 1.38 показан один из часто используемых в исполнительных приводах вариантов адаптивного управления, где параметры регулятора настраиваются управляющим компьютером по эталонной модели. Эталонная модель показывает идеальную желаемую реакцию системы на задающий сигнал g(t). В качестве эталонной модели применяют типовые звенья систем автоматического управления (например, апериодическое звено). Параметры ПИД-регулятора настраиваются так, чтобы минимизировать рассогласование между выходом модели и реальной си-

стемы. Задача контура настройки состоит в том, чтобы свести это рассогласование к нулю за определенное время с гарантией устойчивости переходного процесса.

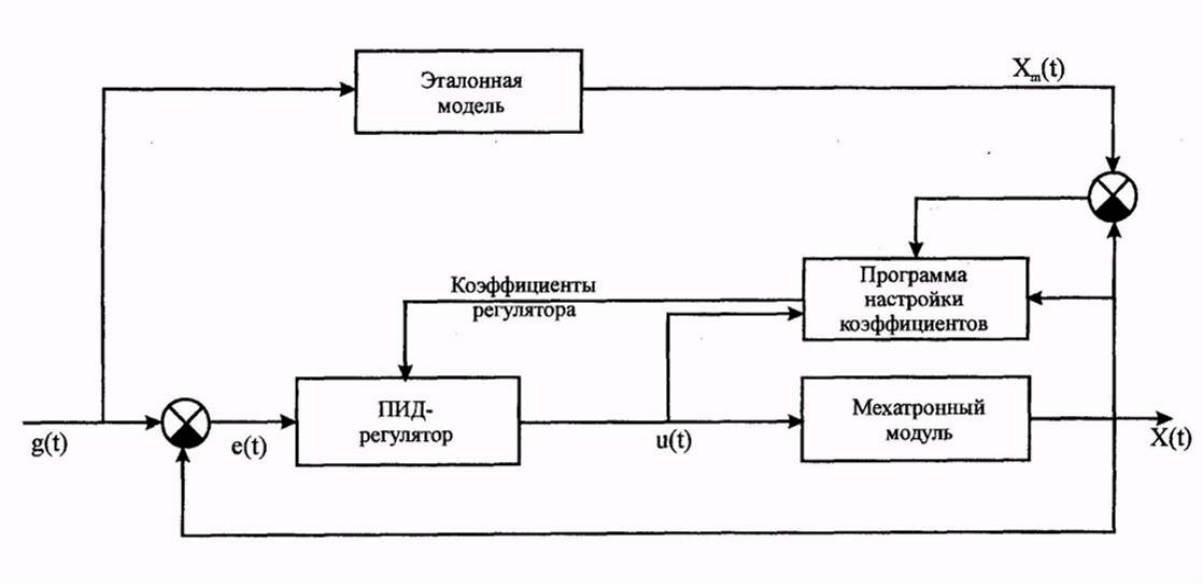


Рис. 1.38. Блок-схема адаптивной системы с эталонной моделью

Управляющий компьютер для реализации адаптивного управления по данной схеме должен в реальном времени решать следующие задачи:

- формировать задающий сигнал для управляемой системы;
- рассчитывать идеальную реакцию по эталонной модели;
- вычислять коэффициенты регулятора в соответствии с программой настройки, определять текущую ошибку и выдавать сигнал управления на вход мехатронного модуля.

Помимо рассмотренной блок-схемы с эталонной моделью известны и другие методы автоматической настройки параметров и структуры регуляторов, например, нечеткий регулятор. Методологической основой для проектирования нечетких регуляторов является концепция нечеткой логики. В основе стандартных современных компьютеров лежит логика «четкого мира». Они работают только с двумя базовыми логическими переменными «Да» и «Нет» и детерминированными числовыми данными, поэтому свойства этого мира описываются

совокупностями нулей и единиц. Однако на практике очень часто приходится иметь дело с неопределенными, нестрогими свойствами объектов и процессов, которые не могут быть формализованы в понятиях «четкого мира». Общий смысл этих понятий нам очевиден, но сделать однозначный вывод о принадлежности конкретного объекта к данному множеству только с помощью слов «Да» и «Нет» зачастую затруднительно, необходимо узнать мнение нескольких экспертов. Английское слово «fuzzy», буквально означающее «ворсистый», «пушистый» – специальный термин, определяющий свойство тканей. Рисунок ворсистой ткани кажется нам размытым, нечетким, неясно очерченным, что соответствует образам «нечеткого мира». Целесообразность применения методов нечеткой логики при управлении мехатронными системами обусловлена особенностями постановки задач управления, которые заключаются в априорной неопределенности возмущающих воздействий, переменности параметров мехатронных объектов управления и в сложности построения аналитических моделей систем. Характерно, что теория нечетких множеств была предложена проф. Л. Заде именно для решения проблем управления сложными техническими системами.

Структурная схема нечеткого регулятора с параметрической адаптацией приведена на рис.1.39. Нечеткий контроллер функционирует на основе экспертной базы знаний и выполняет следующие основные операции:

- преобразование данных о переменных состояния системы в нечеткую форму (операция фазификации), хранение и обработка нечеткой информации;
- выполнение нечетких выводов по лингвистическим правилам управления, заложенным в базу знаний;
- перевод нечетких переменных в четкое представление для управления системой (операция дефазификации).

Для математического представления нечеткой информации используются нечеткие множества, состав объектов которых зависит от мнения экспертов, цели и времени формирования множества. Состав

множества задается с помощью функций принадлежности, имеющих вероятностный характер. Так, выражение mA (X) = C означает, что элемент A принадлежит множеству X с вероятностью C.

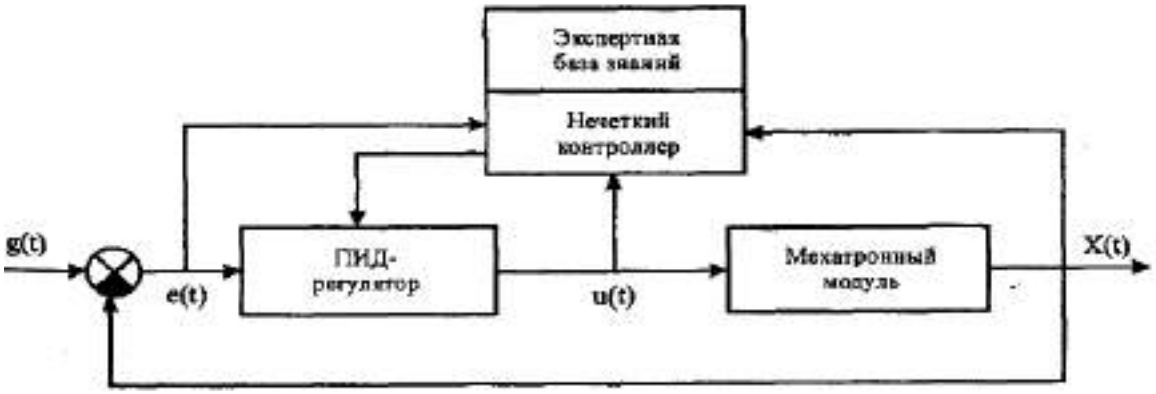


Рис. 1.39. Блок-схема нечеткого регулятора

Функции принадлежности допускают графическую интерпретацию, при этом по оси ординат может откладываться как числовая, так и лингвистическая переменная, причем возможно как непрерывное, так и дискретное представление функции.

В работах, посвященных синтезу систем управления, рассматривается влияние на процесс управления таких фундаментальных ограничений как насыщение, ограничение скорости нарастания входного сигнала, ограниченность полосы пропускания и других. Техника синтеза систем с подобными ограничениями хорошо известна и не является предметом рассмотрения в настоящей работе. В тоже время требование обеспечения высокой плавности и точности, то есть качества движения при выполнении лазерных операций резки или сварки накладывает технологические ограничения на величину скорости и ускорения движения рабочего инструмента в особенности при перемещении по криволинейным траекториям. Несмотря на то, что контурная скорость движения задается программно, целесообразно ввести в структуру привода жесткое ограничение её величины, настраиваемое для каждой операции, ввиду требования гарантированного качества вы-

полнения операции, а также величины ускорения при желательно монотонном характере переходных процессов в манипуляционной системе. Учитывая, что ограничение ускорения является (при постоянных инерционных параметрах) по существу ограничением динамической силы или момента, примем в качестве фундаментальных ограничений на механическую характеристику движения звеньев манипулятора, приведенные на рис. 1.40.

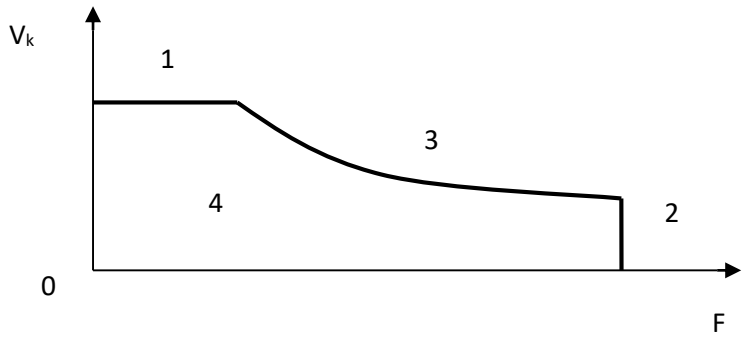


Рис 1.40. Фундаментальные технологические ограничения

На рис. 1.40 обозначено: 1 – ограничение максимальной контурной скорости; 2 – ограничение максимального усилия; 3 – кривая максимальной мощности; 4 – рабочая область; V_k и F – контурная скорость и усилие, развиваемое в приводе перемещения звена манипулятора.

Для обеспечения траекторного движения манипулятора требуется регулируемый электропривод, построенный на базе двигателя постоянного или переменного тока. Учитывая, что в современных технических системах отдается предпочтение переменному току, остановимся на приводе переменного тока, хотя в данном случае этот вопрос не носит принципиальный характер. Современные электроприводы переменного тока, построенные на базе асинхронных или синхронных двигателей и снабженные быстродействующими контроллерами, обладают высоким быстродействием, хорошими регулировочными свойствами и широкими возможностями настройки большого числа параметров. Для асинхронных и синхронных двигателей используют фазовое частотное или векторное (датчиковое или бездатчиковое) токовое

управление, при этом последнее обеспечивает постоянство потокосцепления и наилучшие технические характеристики привода. На рис. 1.41 приведена упрощенная функциональная схема асинхронного электропривода с векторным управлением и датчиком скорости. Здесь обозначено: РС - регулятор скорости; $РТ_{max}$ - регулятор максимального тока; РТ – регулятор тока; И – инвертор; АД – асинхронный двигатель; ДТ – датчик фазных токов; ДС – датчик скорости, сигнал о которой часто формируется как производная сигнала энкодера; МД – модем двигателя, служащая для компенсации изменения потокосцепления в функции угла поворота вала двигателя и насыщения магнитной системы.

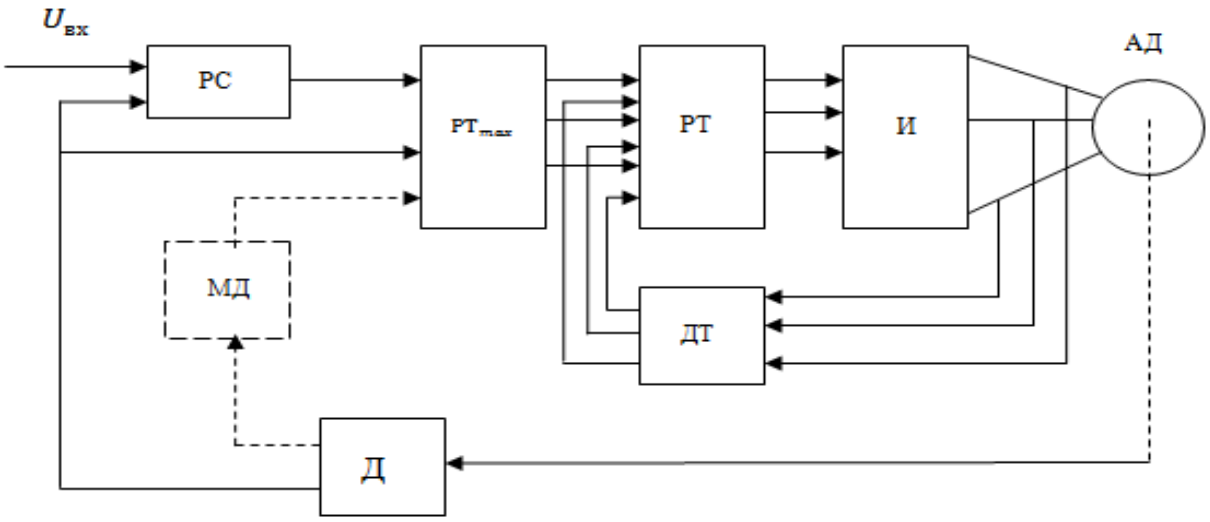


Рис. 1.41. Функциональная схема асинхронного электропривода с векторным управлением

При бездатчиковом управлении сигнал о скорости вращения вала двигателя формируется контроллером в функции скольжения вычисляемого по измеренным значениям фазных токов и напряжений. Близкую к приведенной на рис. 1.41 структуру имеет и электропривод с синхронным двигателем, в котором отсутствует МД и обязательно присутствует датчик угла поворота (энкодер) ротора синхронного двигателя чаще всего с возбуждением от постоянных магнитов и трехфазной статорной обмоткой. Приводы снабжаются системами защиты от

перегрева и перегрузок, а исполнительные двигатели (по желанию заказчика) – встроенными вентиляторами и электромагнитными фрикционными тормозами, служащими для фиксации вала в положениях статического равновесия и аварийном исчезновении питания.

1.5. Структура и состав роботизированных технологических комплексов

Роботы, применяемые в промышленности, получившие наименование промышленные роботы (ПР), подразделяются на технологические, которые выполняют основные технологические операции, и вспомогательные, занятые на вспомогательных операциях по обслуживанию основного технологического оборудования. Комплексы с такими роботами называются роботизированными – роботизированные технические комплексы (РТК). Классификации соответствующих РТК, сложившейся в машиностроении и приборостроении и основанной на следующих основных признаках:

- тип производственного подразделения;
- степень изменения производства, связанная с применением ПР;
- вид технологического процесса;
- количество выполняемых технологических операций;
- тип и количество используемого основного технологического оборудования;
- тип и количество используемых ПР;
- серийность и номенклатура продукции;
- компоновка комплекса;
- принцип управления комплексом;
- степень участия (функции) человека в комплексе.

В табл. 1.2 представлена общая классификация технологических комплексов применительно к машиностроению, основанная на перечисленных выше признаках.

Таблица 1.2 - Классификационные признаки и соответствующие им основные типы технологических комплексов с роботами

№ п/п	Признак	Наименование
1.	Тип подразделения	технологическая ячейка участок линия цех
2.	Степень изменения производства, связанная с применением ПР	Для вновь создаваемого производства: с принципиально новой технологией с новым технологическим оборудованием Для модернизируемого производства: с изменением технологии с модернизацией оборудования с созданием новых ПР
3.	Вид технологического процесса	Комплекс: механообработки холодной штамповки ковки литья прессования пластмасс термической обработки сварки транспортный контроля и испытаний и т.д.
4.	Тип и количество технологического оборудования	С выполнением основных технологических операций: технологическим оборудованием ПР их комбинацией
5.	Серийность и номенклатура продукции	С определенным размером выпускаемых партий продукции без переналадки комплекса С определенным перечнем видов (типов) выпускаемой продукции
6.	Компоновка комплекса	С компоновкой: линейной круговой линейно-круговой по площади объемной
7.	Тип управления	С управлением: централизованным децентрализованным комбинированным
8.	Участие человека	С участием человека: в выполнении технологических операций основных вспомогательных основных и вспомогательных

Тип производственного подразделения. Здесь классификационным признаком служит количество выполняемых технологических операций. Простейшим типом, который лежит в основе более крупных комплексов, является *технологическая ячейка* (ТЯ). В ней выполняется всего одна основная технологическая операция (помимо вспомогательных). При этом количество единиц технологического оборудования и ПР в составе ТЯ не регламентируется. В частности, в ТЯ может совсем отсутствовать технологическое оборудование помимо ПР, когда основную операцию выполняет ПР, или, наоборот, могут отсутствовать самостоятельные ПР, когда последние объединены с основным технологическим оборудованием. Следующим более крупным комплексом является *технологический участок* (ТУ). Он характеризуется тем, что здесь выполняется несколько технологических операций, которые объединены технологически, конструктивно (оборудованием) или организационно (управлением). Эти операции могут быть одинаковыми или различными. Если различные операции технологически последовательно связаны, то такой участок представляет собой *технологическую линию* (ТЛ).

Классификация технологических комплексов по степени изменения производства, связанного с применением ПР. Такое изменение, очевидно, будет максимально для создаваемых новых производств, основанных на новых технологиях и минимально для действующего производства, автоматизируемого на базе серийных ПР. Классификация по виду технологического процесса не исчерпывает перечень последних, а включает только типовые для современного состояния областей применения ПР в машиностроении. Классификация по типу и количеству используемого основного технологического оборудования. Здесь выделены два уже названных выше основных варианта: когда ПР выполняют основные технологические операции (сборку, сварку, окраску и т.д.) или – вспомогательные по обслуживанию основного технологического оборудования. Серийность и номенклатура продукции определяется в данном случае объемом партий продукции, которые можно изготавливать без переналадки комплекса, а номенклатура – широтой перечня выпускаемых видов (типов) продукции. Оба эти показателя

имеют существенное влияние на эффективность применение ПР. В частности, каждый технологический комплекс характеризуется предельными значениями этих параметров, вне рамок которых данный комплекс оказывается экономически невыгодным вплоть до целесообразности перехода от гибких комплексов к специальным автоматам (при большой серийной и узкой номенклатуре) или даже к использованию рабочих вместо ПР (в противоположном случае предельно единичного производства).

В классификации по типу размещения технологического оборудования и ПР приведены основные (базовые) типы компоновок. При простой линейной компоновке оборудование располагается в один ряд (по линии), а при наиболее сложной объемной компоновке – на нескольких этажах (уровнях). Классификация по типу управления включает рассмотренные выше централизованное, децентрализованное и комбинированное управления. Централизованное управление осуществляется устройством группового управления. Децентрализованное управление реализуется с помощью совокупности местных устройств управления, связанных друг с другом с целью взаимной координации. Классификация по степени участия человека включает два случая участия человека в работе: когда человек непосредственно выполняетнекоторые технологические операции (основные или вспомогательные) и когда он участвует в управлении комплексом.

Исходя из большого многообразия применения роботов в промышленном производстве, в качестве конкретных примеров приведем примеры применения РТК в производстве автомобилей на предприятиях ОАО «АВТОВАЗ».

На рис. 1.42. представлен вид РТК дуговой сварки панели приборов. РТК оснащен поворотными столами и кантователями с электромеханическим приводом поперечины панели приборов, для ручной сборки и автоматической дуговой сварки поперечины панели приборов с кронштейнами в сборе. Сварка осуществляется в среде углекислого газа с периодической зачисткой и смазкой горелки через заданное число циклов. Проект был выполнен по всем мировым стандартам с

учетом промышленной безопасности и эргономики. РТК состоит из четырех постов, на которых задействованы семь роботов TUR-15 с современным навесным сварочным оборудованием. Единственная ручная операция – закладка свариваемых деталей. Пост 1 состоит из промышленного робота TUR-15 с комплектом автоматической сварки и поворотного стола с электромеханическим приводом, который имеет пневматический фиксатор для контроля положения. Положение фиксатора (нижнее и верхнее) определяется двумя конечными выключателями. На поворотном столе смонтированы две плиты с фиксирующей оснасткой для сборки свариваемых деталей. Для распознавания плит установлены два конечных выключателя. Робот в исходном положении контролируется стойкой с конечным выключателем.



Рис. 1.42. Вид РТК дуговой сварки панели приборов

Посты 2–4 имеют одинаковый состав, включающий два робота TUR-15, оснащенных комплектами автоматической сварки, и два кантователя с электромеханическими приводами и блочными выключателями, на которых установлены рамы с фиксирующей оснасткой. Посты имеют ограждения, которые являются комплексной системой безопасности от травмирующих факторов исполнительных узлов РТК, а также защищают от воздействия электрической дуги. Ограждения состоят из типовых секций-рамок с проволочной сеткой, стоек, калитки с датчиком контроля, брызгозащитных экранов и светового барьера в зоне загрузки-выгрузки. Поперечина панели приборов – довольно сложное изделие, и ВМЗ является сегодня единственным поставщиком этой детали для семейства автомобилей Lada Kalina, Chevrolet Niva и Lada Granta. Автоматическая линия контактной точечной сварки кузова, предназначенная для сборки и сварки кузова автомобиля представлена на рис.1.43.



Рис. 1.43. Автоматическая линия контактной точечной сварки кузова

Автоматическая линия оснащена 24 роботами, в том числе 20 роботами TUR-150 конструкции ВМЗ, четырьмя роботами KR180L150-2K фирмы KUKA и клещами для контактной точечной сварки, также конструкции ВМЗ.

Посты автоматической линии включают в свой состав следующие типовые конструкции:

- ГЕО-тележка – сварная рама, на которой смонтированы пневмоприжимы, ложементы и фиксаторы для автомобильных деталей с целью создания геометрии основания. Снизу рамы закреплены цепь, служащая для зацепления со звездочками мотор-редукторов, и ролики для движения по направляющим.
- Гидравлический подъемник грузоподъемностью 3 т предназначен для перемещения ГЕО-тележки. В состав подъемника входит сварная рама, на которую установлен конический мотор-редуктор со звездочкой на выходном валу.
- Стационарный стол – сварная двухуровневая металлоконструкция, на которой установлены направляющие. Для перемещения ГЕО-тележки по направляющим на верхнем уровне смонтированы два мотор-редуктора: один стационарно, другой – на откидном кронштейне. Для фиксации ГЕО-тележки в положении сварки предусмотрены откидные упоры и пневмоцилиндр дожима. На нижнем уровне для возврата ГЕО-тележки на пост также смонтирован мотор-редуктор со звездочкой на выходном валу.

В состав постов также входят роликовые столы с электромеханическим приводом, устройства для укладки и подъема скидов, перекладчики основания, которые имеют электромеханические приводы на перемещение между постами и подъем-опускание, а также пневмопривод зажима основания. Для безопасности работы операторов предусмотрены фотобарьеры. При этом собственно сварку выполняют напольные роботы и роботы, установленные на портале.

РТК лазерной резки объемных кузовных деталей и раскроя листового материала (металла, пластмасс и т. д.) приведен на рис 1.44.



Рис. 1.44. РТК лазерной резки объемных кузовных деталей
и раскроя листового материала

Комплекс состоит из промышленного робота ПР-125, двухпозиционного поворотного стола, комплекса ограждений и электрооборудования. РТК работает следующим образом. Операторы вручную загружают заготовку детали на обе планшайбы поворотного стола, закрывают ворота ограждения и нажимают кнопку «Пуск». Робот начинает резку детали по программе. По окончании резки он возвращается в исходное положение, операторы открывают ворота, разгружают готовую деталь и загружают следующую заготовку. Далее циклы повторяются.

РТК для нанесения жидкой прокладки на корпус картера сцепления для механосборочного производства представлен на рис. 1.45.



Рис. 1.45. РТК для нанесения жидкой прокладки на корпус картера сцепления

Основным исполнительным органом РТК является программируемая рука робота TUR15 с шестью степенями свободы, установленная на подставке манипулятора. Нанесение жидкой прокладки на картер сцепления производится через клапан подачи мастики, куда мастика подается от насосной станции. Точное позиционирование паллеты вместе с заготовкой в зоне обработки, а также отсечение транспортного потока обеспечивают два гидроцилиндра устройства фиксации и подъема, установленные на сварном основании. Для дублирования работы робота TUR-15 при его отключении введен пост ручного до нанесения мастики. В пост входит ручной стопор, ложемент под картриджи и ручной пистолет с пневмоуправлением. Подача паллет с заготовками и отвод их из зоны работы робота TUR-15 производится цеховым транспортом.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение термина «мехатроника».

2. Что такое мехатронный объект?

3. Каким мехатронным уровням может соответствовать технический объект? Приведите примеры.

4. Что такое «устройство»?

5. Мехатронность технических объектов, что это такое?

5. Какие основные принципы положены в основу построения мехатронных систем?

6. Какие устройства могут являться составной частью машин с компьютерным управлением движением?

7. Какие функции выполняет устройство компьютерного управления в мехатронной системе или модуле?

8. Объясните суть мехатронного подхода к проектированию.

9. Какие основные преимущества мехатронного подхода при создании машин с компьютерным управлением по сравнению с традиционными средствами автоматизации?

10. Что такое мехатронный модуль движения?

11. Приведите пример мехатронного модуля вращательного движения.

12. Приведите пример мехатронного модуля поступательного движения.

13. Какова структура мехатронного модуля движения?

14. В чем заключаются преимущества применения линейных двигателей?

15. Объясните структуру мехатронного моторшпинделя.

16. Приведите классификацию информационных устройств и систем используемых в мехатронике и промышленных роботах.

17. Приведите примеры датчиков внутренней информации устройств мехатроники и робототехники.

18. Приведите примеры датчиков внешней информации устройств мехатроники и робототехники.

19. Объясните принцип работы пъезодатчиков.

20. Назовите уровни управления в мехатронных системах.

21. Объясните типовую структуру системы управления движением.

22. Объясните структуру адаптивной системы с эталонной моделью.

23. В чем заключается особенность применения нечеткого регулятора в системах управления?

24. Приведите структуру современного электропривода переменного тока, используемого в мехатронных модулях движения.

25. Приведите классификацию роботизированных технологических комплексов.

Глава 2. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ МОНТАЖНЫХ РАБОТ ОБОРУДОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

2.1. Технологическая подготовка роботизированного производства и проведение монтажных работ

Правила выбора оборудования и средств технологического оснащения, комплектующих роботизированную технологическую систему изложены в рекомендациях Р 50-54-85-88**.** Основное технологическое оборудование выбирают по параметру, в наибольшей степени выявляющему функциональное назначение и технические возможности данного типа оборудования. При разработке усовершенствованного технологического процесса выбор нового или сохранение действующего оборудования обусловлены увеличением объема выпуска продукции, повышением качества изделий, снижением уровня издержек, обеспечением гибкости производственного процесса, улучшением условий труда, техники безопасности и промышленной санитарии. Оборудование, входящее в состав РТС, по возможности, должно быть однотипным, так как содержание такого оборудования обходится дешевле. При проектировании новых моделей следует придерживаться принципов агрегатного построения и широкой унификации с оборудованием, действующим на предприятии. Прежде чем приступить к выбору моделей оборудования для проектируемого технологического процесса, необходимо оценить, можно ли использовать действующее оборудование в новых условиях. Должна быть проведена оценка физического состоя-

ния оборудования и его технических показателей. При списании устаревшего оборудования следует определить технико-экономическую целесообразность использования в структуре РТС его отдельных деталей и механизмов. Основное технологическое оборудование, предназначенное для выполнения конкретных операций (станки, прессы и т. д.), должно отвечать требованиям, сформулированным в ГОСТ 26.228 – 85. Выбор моделей ПР должен сопровождаться расчетом экономической эффективности его применения в конкретных условиях работы РТС. В зависимости от условий производства РТС могут комплектоваться ПР различных типов, выбранными из числа существующих моделей, или конструкциями, специально разработанными для конкретных целей. При отсутствии ПР с необходимой технической характеристикой, одновременно с заданием на РТС необходимо разработать техническое задание на проектирование и создание новой конструкции ПР. Выбор или разработка захватных устройств и инструмента, комплектующих ПР, осуществляется после разработки технологического процесса. Конструкции оснастки и вспомогательных устройств, входящих в состав РТС, разрабатывают с учетом материала, массы, формы и типоразмеров деталей; параметров и конструктивных особенностей поверхностей изделия, влияющих на конструкцию оснастки, в том числе базовых поверхностей для установки в рабочей зоне оборудования и поверхностей для захвата рукой робота; технологических схем оборудования и фиксации деталей; характеристик основного технологического оборудования; характеристик ПР или другого загрузочного устройства; характера ориентации детали перед установом ее в рабочую зону оборудования, т. е. перед захватом ее рукой ПР (желательно, чтобы на позицию загрузки заготовка приходила ориентированной соответственно ее положению в рабочей зоне оборудования); серийности производства. Технологическую оснастку выбирают в соответствии с ГОСТ 14.301-83. Порядок составления, согласования и утверждения технического задания на разработку новых конструкций технологической оснастки обусловлен ГОСТ 15.001--73. Правила выбора средств технологического оснащения процессов технического контроля обусловлены ГОСТ 14.306-73.

Анализ действующего производственного процесса. До анализа должна быть установлена характеристика данного производства, а именно:

- тип производства (массовое, крупносерийное, среднесерийное, мелкосерийное);
- организационные методы производства (поточные однопредметные и многопредметные, непоточные);
- характер перемещения деталей по технологическому процессу (непрерывный, прерывистый);
- специфические особенности данного производства (вредные условия труда, обработка специальных материалов и др.).

В результате анализа действующего производства должны быть определены:

- номенклатура деталей, обработка которых может быть осуществлена с применением ПР;
- характеристики деталей и вид заготовок;
- неиспользованные резервы и узкие места производственного процесса; выявлены потери, возникающие вследствие технических и организационных недостатков;
- состав основного технологического оборудования и технические требования по его модернизации либо замена новыми моделями оборудования;
- специфические особенности действующего производственного процесса, от которых зависит повышение его эффективности;
- пути изменения организационной структуры производства;
- пути усовершенствования технологического процесса обработки, механизации или автоматизации отдельных операций;
- средства механизации и автоматизации труда, повышающие производительность, в том числе путем применения ПР;
- число основных и вспомогательных рабочих, участвующих в производственном процессе обработки отобранной номенклатуры деталей до и после автоматизации;
- планировка и размеры производственных площадей, занимаемых оборудованием до и после автоматизации;
- методы организации и средства межстаночного транспортирования и складирования заготовок, полуфабрикатов и готовых деталей до и после автоматизации;
- методы контроля размеров и точности отобранной номенклатуры деталей до и после автоматизации;

• характеристика отходов обработки и методы их удаления до и после автоматизации.

Предложения по применению ПР должны быть обоснованы результатами анализа существующего производственного процесса и предварительной оценкой ожидаемого экономического эффекта. При подготовке заявки и разработки технического задания на создание РТС следует сформулировать конкретные цели проведения работы, указать состав роботизированной технологической системы (комплекс, участок, поточная линия, цех и т. п.), ее назначение, характер связи с основным производством (в том числе с организацией его управления и транспортными потоками) и определить источники ожидаемого экономического и социального эффекта. Анализ и отбор деталей, подлежащих обработке на РТС, производят в соответствии с рекомендациями, приведенными в ГОСТ 14.306-73. При отборе деталей следует руководствоваться также положениями, учитывающими правила обеспечения технологичности конструкции изделий, а также ГОСТ 14.324-84 ЕСТПП, определяющим правила выбора объектов роботизации. В результате отбора и группирования деталей по конструктивно-технологическим признакам, обеспечивающим типизацию технических и организационных решений в процессе производства, устанавливают детали-представители с общими для каждой из указанных групп признаками, для обработки которых требуется наибольшее количество основных и вспомогательных операций, характерных для изделий этой группы. Применительно к деталям-представителям в дальнейшем проводят анализ действующего и разработку нового технологического процесса. Анализ производственного процесса, разработка предложений по его рационализации и автоматизации операций (в том числе с помощью ПР) должны предшествовать работам по составлению заявки и технического задания на создание РТС. Анализу можно подвергнуть как весь производственный процесс в целом (от получения заготовок и способа подачи их на обработку до выпуска готового изделия), так и его составные части и даже отдельные операции. Анализ выполняют с целью выявления особенностей производства данного изделия на Конкретном предприятии, выявления неиспользованных резервов и узких мест, разработки рекомендаций по повышению рентабельности производства и сокращению трудовых затрат путем рационализации, механизации и автоматизации труда (в том числе и с помощью ПР). Для

этого необходимо весь процесс расчленить на простейшие составляющие элементы и подвергнуть их всестороннему критическому анализу, в результате которого должны быть разработаны экономически обоснованные предложения по совершенствованию процесса. Анализ технологических процессов производят применительно к изготовлению деталей-представителей на основе обследования процесса на предприятии заказчика. Для облегчения техники работы и обеспечения единообразия сбора и обработки информации можно рекомендовать применение графических схем, отображающих технологические процессы обработки деталей. Каждая операция может производиться с участием или без участия рабочего (автоматически). С помощью условных обозначений, приведенных в таблице, строят графическую схему любого производственного процесса.

Монтажу систем автоматизации и роботизации должна предшествовать подготовка в соответствии со СНиП 3.01.01-85. Подготовкой производства монтажа называется разработка и осуществление взаимоувязанных организационных, технических и технологических, планово-экономических и финансовых документов и мероприятий, обеспечивающих эффективное выполнение работ в установленные сроки при заданных технико-экономических показателях. На стадии подготовки производства монтажа должны быть выполнены следующие мероприятия: рассмотрена и укомплектована документация для монтажных работ; составлены накопительные ведомости на трубопроводы и металлоконструкции, материалы; оформлены заказы на изготовление конструкций и заготовок, а также задания на разработку ППР и чертежей металлоконструкций; проверена правильность сметной документации и уточнены объемы работ; разработаны, согласованы, утверждены и выданы исполнителям проекты и схемы производства работ, технологические карты и другая документация по производству, механизации и сдаче монтажных работ; составлены графики производства работ и обеспечения их материально-техническими ресурсами; обеспечение монтажных зон, участков монтажными кранами и механизмами, инструментом и приспособлениями, такелажным оборудованием и оснасткой; определен порядок поставки оборудования и его подачи в монтажную зону, установки и закрепления его на фундаментах; проведен анализ монтажной технологичности оборудования; подготовлена монтажная площадка и др. К подготовительным монтажным работам

относят: приемку и подготовку оборудования к монтажу; приемку строительной готовности монтажной зоны; предмонтажное укрупнение оборудования; установку фундаментных болтов. При приемке оборудования в монтаж проверяют: комплектность его по упаковочным листам и комплектовочно-отгрузочным ведомостям; его соответствие заводским чертежам и техническим условиям, исправность; наличие пломб. Результаты приемки оборудования в монтаж закрепляются приемосдаточным актом. Акты подписывают представители заказчика, монтажной организации и генерального подрядчика на строительство объекта, а при необходимости и завода-изготовителя. В подготовку оборудования к монтажу входят: расконсервация и очистка оборудования; ревизия его; подготовка материалов и комплектующих изделий (прокладок, сальниковых набивок, уплотняющих манжет, колец, герметизирующих составов и др.). Расконсервация - это удаление консервационных смазок, лакокрасочных и других защитных покрытий с поверхностей оборудования. При расконсервации, в зависимости от примененного метода консервации, используют соответствующие способы и материалы

Предмонтажная ревизия - это комплексная проверка состояния оборудования и устранение повреждений, вызванных хранением машин и агрегатов на складах сверх нормативных гарантийных сроков, предусмотренных техническими условиями на их изготовление и поставку. При отсутствии гарантийного срока ревизия производится через год. Предмонтажная ревизия предусматривает расконсервацию оборудования; разборку его для расконсервации и осмотр вращающихся и движущихся деталей; удаление коррозии; посторонних частиц с последующей промывкой, протиркой и консервацией обработанных поверхностей; проверку состояния (сохранности) изделий; замену антикоррозионных смазок рабочими, прокладок, сальниковых набивок и мелких деталей (подшипников, питательных трубок, масленок, пробок и т.п.); исправление мелких (неконструктивных) дефектов, шабрение посадочных мест подшипников, трущихся поверхностей, шлифование шеек и цапф валов; перемещение и кантовку оборудования, связанных с ревизией; последующую сборку оборудования.

2.2. Монтаж механических систем роботов и станков

Промышленные роботы поставляются заводу-потребителю в виде отдельных сборочных единиц, упакованных в тару. При транспортировании этих сборочных единиц необходимо учитывать руководство по эксплуатации ПР, в котором приводятся схемы разделения на сборочные единицы, методы их транспортирования и места зачаливания грузов. При распаковке ящиков, в которых размещаются отдельные части ПР, сначала снимают верхний, а затем боковые щиты. При этом следует соблюдать необходимые меры предосторожности, чтобы не повредить изделие. До распаковки узлов необходимо проверить наличие сопроводительной документации и ознакомиться с ее содержанием.

Монтаж механических систем ПР является одним из первых этапов проведения монтажных работ, который обеспечивает установку ПР в проектное положение и закрепление его на месте эксплуатации. Поскольку ПР работает в комплексе с другим оборудованием, особое внимание следует уделять точности установки ПР и сохранения его пространственного положения в процессе работы.

В зависимости от способа установки ПР подразделяются на: настольные или встраиваемые в оборудование; напольные; подвесные с расположением на портале или консольном монорельсе; с подвижным основанием; мостовые.

Наиболее просто осуществляется монтаж механических систем (манипуляторов) настольных или встраиваемых в технологическое оборудование ПР. Масса их манипуляторов не превышает 40 кг. Манипуляторы устанавливаются на кронштейне, конструкция которого определяется видом технологического оборудования и посадочными размерами манипулятора. Монтаж напольных и подвесных манипуляторов осуществляется на фундаменте. Фундаменты относятся к строительным конструкциям, поэтому допуски на их размеры значительно выше требуемой точности установки ПР. В связи с этим монтаж ПР непосредственно на фундаментах почти не производится и для достижения требуемой точности установки используются промежуточные элементы (клинья, регулировочные башмаки), устанавливаемые между

фундаментом и опорной поверхностью ПР. На конструкцию фундамента влияют масса и габариты ПР, режим их работы, характер воздействия нагрузок на фундамент (вибрация, ударные нагрузки т. п.), характер связи ПР с другим оборудованием комплекса. Фундаменты чаще всего выполняются в виде бетонных, железобетонных или кирпичных блоков. Размеры основания (площадь) определяются исходя из величины допустимого удельного давления па грунт из следующего соотношения: $S=Q/o_z$ при $o_z < p_д$, где S- площадь основания фундамента, $м^2$; Q-нагрузка на основание фундамента, слагаемая из массы фундамента, массы ПР с учетом максимальной грузоподъемности, Н; o_z -давление подошвы основания фундамента на грунт, Па; $p_д$ -допустимое давление на грунт (берется из справочника по механике грунтов), Па.

Для обеспечения требуемой точности проведения монтажных работ на фундаментах и опорных частях здания закрепляются оси и отдельные точки, определяющие положение оборудования в пространстве. Совокупность продольных и поперечных осей, высотных точек, служащих для установки и проверки положения ПР, околороботного и технологического оборудования, называется геодезическим обоснованием монтажа. Монтажные оси и высотные отметки подразделяются на рабочие и контрольные. По рабочим осям и отметкам устанавливают и выверяют оборудование, а по контрольным контролируют положение рабочих осей и отметок относительно геодезического обоснования монтажа. Контрольные монтажные оси и отметки закрепляются на монтажной площадке с помощью плашек (положение осей) и реперов (высотные отметки). Плашки (рис. 2.1, а) должны иметь рабочую поверхность не менее 30*150 мм. Положение оси на верхней поверхности плашки отмечается точкой, выбиваемой керном. Кернение производят с точностью +- 0,5 мм. Вокруг осевой точки кернекнием наносится треугольник, направленный одной из вершин по оси, Репером (рис. 2.1, 6) обычно служит стальной стержень с полукруглой головкой. Верхняя часть репера устанавливается на заданной высоте с точностью +- 2 мм. Дальнейшие геодезические измерения производят установкой нивелирной рейки на репер.

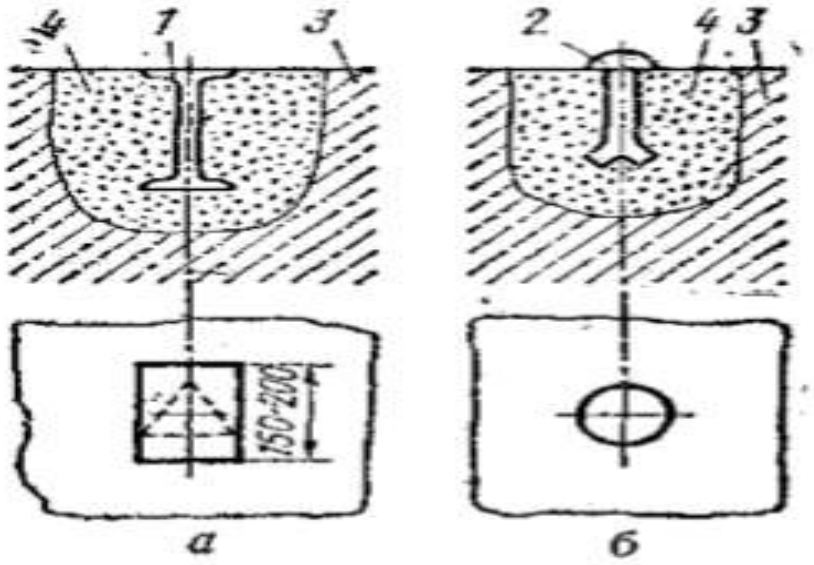


Рис. 2.1. Закрепление монтажных осей и отметок:
а - с помощью плашки, б – с помощью репера (1- плашка,2 – репер, 3 – фундамент, 4 – заливка фундамента)

Рабочие оси и отметки, по которым производится установка оборудования, служат сравнительно недолго и закрепляются, главным образом, при помощи струн и отвесов относительно контрольных отметок. До недавнего времени установка закладных частей фундамента (болтов, анкерных плит, рам, опор и т. п.) выполнялась строительными организациями. Однако опыт монтажа технологического оборудования показал, что наилучшие результаты достигаются при установке закладных частей монтажной организацией с использованием монтажных приспособлений, которые обеспечивают точную установку болтов в плане и по высоте, неизменное их положение во время бетонирования. Основными частями монтажных приспособлений являются каркас и кондукторы. Каркас собирают из типичных стоек и прогонов. Стойки опираются на пластины, залитые в специальные бетонные тумбочки, которые возводятся одновременно с бетонной подготовкой фундамента. На балках каркаса устанавливают кондукторы, выполненные из листового материала, уголков или швеллеров и имеющие отверстия по разметке оснований ПР. Диаметры отверстий в кондукторе должны на 1-1,5 мм превышать диаметры фундаментных болтов. Кондукторы выверяют относительно осей фундамента и приваривают к каркасу. В от-

верстия кондуктора устанавливают анкерные болты н производят заливку пространства под кондуктором бетоном. Для образования закладные болты в отверстия кондукторов устанавливают металлические пробки. В зависимости от способа установки и крепления в фундаменте болты могут быть: глухими или заливными, заделанными в бетонном основании; съёмными, устанавливаемыми в фундаменте без сцепления с бетоном и анкеровкой при помощи, например, закладных плит; устанавливаемыми в готовый фундамент ввертыванием в предварительно заделанные фундаментные гайки и т. п. Диаметр фундаментных болтов с учётом предварительной затяжки рассчитывают по формуле $d_1=\sqrt{1,35P (4/\pi [o_p])}$, где d_1 – внутренний диаметр резьбы болта, м; 1,35– коэффициент, учитывающий предварительную затяжку болта; Р- вертикальная составляющая внешних сил, действующих по оси болта, Н; $[o_p]$ -допустимое напряжение на растяжение (для углеродистой стали 70-80 Н/мм^2).

Наименьшие значения длин фундаментных болтов (мм) в зависимости от материала фундамента приведены ниже:

Болт ….. М12 М14 М16 М18 М20 М24 М30

Материал фундамента

Бетон … 120 140 170 190 220 260 320

Кирпич .. 130 160 200 200 240 300 360

В зависимости от типа и грузоподъёмности ПР поступают в монтажную зону в собранном и разобранном видах в заводской упаковке. При распаковке первоначально снимается верхний щит упаковочных ящиков, а затем боковые. Необходимо следить за тем, чтобы не повредить ПР распаковочным инструментом. Перед установкой ПР открытые, а также закрытые кожухами и щитками обработанные неокрашенные поверхности необходимо очистить от антикоррозионных покрытий. Для этого используются деревянные лопаточки, которыми первоначально снимается толстый слой покрытий или смазки. Оставшаяся смазка удаляется с поверхностей чистыми салфетками, смоченными в бензине или уай-спирте. Во избежание коррозии очищенные поверхности рекомендуется покрыть тонким слоем индустриального масла.

Порядок установки ПР в проектное положение указывается в техническом описании и инструкции по эксплуатации, входящих в комплект поставки. Перед строповкой ПР и установкой его непосредственно на фундамент необходимо заблокировать звенья подвижности,

исключив тем самым возможность их самопроизвольного перемещения при транспортировке ПР мостовым краном или другим грузоподъемным механизмом. Схемы строповки указаны в руководствах по монтажу. Под стропы необходимо подкладывать деревянные прокладки, не допуская касания строп чисто обработанных, шлифованных и пришабренных поверхностей, а также тонких и хрупких деталей. Перед установкой на фундамент нижнюю поверхность основания необходимо тщательно очистить от грязи, предохранительной краски или смазки. На фундамент устанавливается временные или постоянные опорные элементы, служащие для выверки и закрепления основания ПР. Плавным опусканием ПР отверстия основания фундаментные болты и проверяют их взаимное расположение. При дальнейшем опускании необходимо следить за прохождением через отверстия резьбовой части болтов, не допуская смятия витков резьбы. При соприкосновении опорной поверхности основания ПР с опорными элементами следует обратить внимание на ее равномерное прилегание во всех опорных точках. После выверки ПР на месте установки производится предварительная затяжка фундаментных болтов, подливка и окончательная (через 2-3 суток) затяжка. Методы выверки ПР описаны ниже.

Монтаж ПР, поставляемых в разобранном виде

В разобранном виде поставляются потребителю ПР, имеющие большие габариты и массу, портальные, а также специальные различного назначения. В разобранном виде поставляются также, как правило, ПР модульного исполнения. Например, электромеханический робот модульного типа РПМ-25 состоит из группы модулей, включающих стационарное и подвижное основание в напольном или подвесном исполнении, модули сдвига, подъёма, одинарного и двойного качания, радиального хода, руки трех модификаций (с одной, двумя и тремя степенями подвижности). Путем комбинации модулей можно получить 95 модификаций ПР. В стационарном исполнении все модули ПР монтируются на неподвижном основании, а в подвижном на тележке, перемещающейся по напольным или подвесным направляющим.

Монтаж ПР, поставляемых в разобранном виде, необходимо начинать установки основания, которая осуществляется аналогично, как при монтаже ПР, монтируемых в собранном виде. После выверки

основания и проверки правильности его установки производят затяжку фундаментных болтов и монтаж остальных модулей ПР (Рис.2.2).

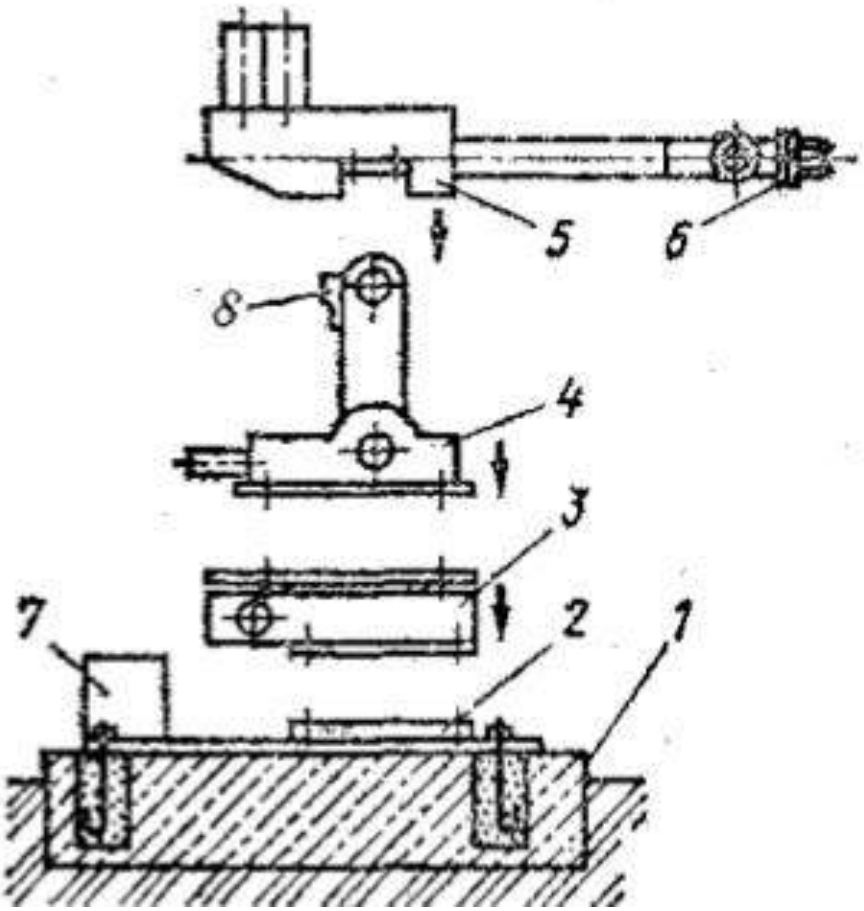


Рис. 2.2. Порядок монтажа модулей манипулятора РПМ-25

Модуль «основание неподвижное» 2 представляет собой плиту с приваренными к ней платиками для установки последующих модулей. На плите установлена система подготовки воздуха 7, обеспечивающая питание сжатым воздухом всех модулей ПР. Необходимо отметить, что в роботе РПМ-25 предусмотрена транзитная передача сжатого воздуха и сигналов между модулями.

Вначале на фундаменте 1 монтируют основание 2, которое через отверстие в плите закрепляют анкерными болтами. Правильность установки основания контролируют уровнем. Затем с помощью мостового крана или тали на основание 2 устанавливают модуль поворота 3. Модуль содержит неподвижную и подвижную части, кинематически свя-

занные через червячный редуктор. Неподвижной частью модуль устанавливают на платики основания, при этом необходимо обеспечить совпадение осей крепежных отверстий. Особое внимание следует уделять наличию резиновых уплотнений в канале воздухопровода между основанием и неподвижной частью (корпусом) модуля поворота. После затяжки крепежных болтов внутреннюю часть модуля поворота закрывают ограждением. Контроль параллельности подвижной части (стола) модуля поворота 3 осуществляется с помощью уровня во взаимно-перпендикулярных направлениях.

На подвижной части модуля поворота 3 устанавливается модуль двойного качания 4, который имеет два исполнительных звена, вращающихся относительно параллельных горизонтальных осей. Модуль качания 4 также обеспечивает транзитную передачу сжатого воздуха к последующим модулям. Для этого на стыковочной поверхности модуля имеется подводное отверстие. При установке модуля необходимо убедиться в наличии резинового уплотнения между отводным отверстием стола 3 и подводным отверстием модуля 4, совместить оси крепежных отверстий и закрепить модуль 4 на столе модуля 3 болтами. Рука 5 манипулятора РПМ-25 устанавливается в расположенной в верхней части стойки модуля двойного качания 4 люльке 8. Для этого базовый корпус руки имеет стыковочные поверхности и крепёжные отверстия. При установке руки также необходимо следить за наличием и правильностью установки резинового уплотнения воздухопровода между отводным отверстием люльки и подводным отверстием руки. Крепление руки 5 к люльке 8 осуществляется четырьмя болтами.

Последним устанавливается захватное устройство 6. Торцевая стыковочная поверхность ориентирующей головки руки 5 и стыковочная поверхность захвата 6 выполнены таким образом, что при подаче сжатого воздуха обеспечивается автоматическое крепление захвата к руке с помощью замка с шариками. Сигнал о наличии захвата снимается с конечного выключателя и подаётся в систему управления ПР.

После монтажа манипулятора производятся установка системы управления, подключение сжатого воздуха, электропитания и осуществляется наладка и опробование работы ПР на холостом ходу.

Специфические требования, связанные с порядком установки опорной системы, предъявляются к монтажу портальных и мостовых

ПР. Как правило, опорная система должна устанавливаться с повышенной точностью. Так, опорные колонны устанавливаются в вертикальной плоскости по отвесу или уровню (цена деления шкалы уровня 0,05 мм; погрешность установки не более трех делений), а в горизонтальной плоскости по струне (отклонения от струны не более 0,5 мм на длине 1 м). Монорельсы монтируют таким образом, чтобы погрешность их установки в вертикальной плоскости не превышала 0,1 мм. Погрешность установки в горизонтальной плоскости измеряют посредине пролета монорельса; она не должна превышать 1 мм на длине 1 м. Если монорельс составной, то после завершения его монтажа не допускаются перекосы направляющих в месте стыков. Системы программного управления ПР проверяют в соответствии с инструкцией по эксплуатации применяемого устройства.

Последовательность монтажа станков в станочных системах следующая:

• разметка и изготовление фундамента под станок в соответствии с чертежом проекта;

• завоз оборудования и предварительная расстановка его на фундаментах; завозят и монтируют основное технологическое оборудование, контрольные и транспортные устройства, магазины, стеллажи и др. его распаковка, технический осмотр и составление акта техосмотра;

• удаление с оборудования средств противокоррозионной защиты (керосином или бензином) и покрытие его тонким слоем чистого масла;

• установка оборудования в горизонтальной и вертикальной плоскостях с «привязкой» к колоннам (установить на фундамент станину станка и выверить уровнем ее положение);

• закладка в отверстия фундамента фундаментных болтов, их заливка цементным раствором и (после его затвердевания) затяжка болтов;

• установка на фундамент станины станка и выверка уровнем ее положения;

• монтаж станка и окончательная выверка его положения;

• заливка бетоном фундаментных болтов, выдержка бетона и затяжка гаек фундаментных болтов;

• установка гидростанций, воздухоочистительных станций, шкафов электрооборудования, стендов и аналогичного оборудования согласно указаниям в фундаментном чертеже;

• укладка в полу коммуникаций, присоединение их к оборудованию;

• разводка коробов, трубопроводов, гидросистем, электропитания, сжатого воздуха и прочих коммуникаций, размещаемых над полом;

• закладка в короба трубопроводов, электропроводки и соединение их с оборудованием, шкафами электрооборудования и пультами; прозванивание (проверка правильности соединения); выполнение работ по заземлению оборудования.

• обкатка станка вхолостую, испытания под нагрузкой и проверка на точность;

• смазка станка и его пробный пуск при соблюдении правил техники безопасности;

• составление акта испытания и акта на приемку из монтажа и сдачу в эксплуатацию оборудования.

Перед установкой станка смывают антикоррозийное покрытие, пыль и грязь керосином. Механизмы станка промывают бензином, насухо вытирают и покрывают тонким слоем машинного масла. Точность и долговечность станков зависят от правильности установки их на фундаменты. Для руководства при установке станка служит установочный чертеж, на котором указаны размеры наибольшей площади для установки и обслуживания. Эти размеры обеспечивают свободное пространство для выступающих частей; станка и для того, чтобы движущиеся части (суппорты, ползуны, столы) в своих крайних положениях не упирались в станину соседнего станка. Следует сохранять межстаночные проходы, установленные правилами техники безопасности. В бетонном полу, опирающемся на грунт, должны быть предварительно пробиты колодцы для фундаментных болтов. При установке станка на бетонном полу междуэтажного перекрытия для фундаментных болтов пробивают сквозные отверстия. Положение станка выверяют уровнем. Для изменения положения станка применяют стальные клинья, укладываемые под подошву станины станка. После предварительной выверки станка поверхности колодцев фундаментных болтов увлажняют и заливают цементным раствором. После затвердевания раствора гайки

фундаментных болтов плавно и равномерно затягивают, производят повторную выверку положения станка и подливают цементный раствор под подошву станины станка.

Тяжелые крупные станки, имеющие недостаточно жесткую станину или составленную из отдельных частей, соединенных болтами, как, например, горизонтальный станок для расточки длинных цилиндров, устанавливаются на отдельных прочных фундаментах. Фундамент как бы дополняет станину станка и придает ей дополнительную жесткость и массу. Подливку цементного раствора под подошву длинной недостаточно жесткой станины тяжелого станка, имеющего точные направляющие, производят только в средней части, а концы станины опирают на регулируемые клинья или башмаки. Это позволяет при эксплуатации станка периодически выверять и регулировать положение его станины. До начала монтажа следует ознакомиться с конструкцией станка по сборочным чертежам и описаниям, прилагаемым к станку. Перед монтажом станка нужно освободить части его от упаковки и очистить от пыли и грязи. Покрытия, предохраняющие обработанные и неокрашенные наружные поверхности деталей станка при транспортировке, следует смыть скипидаром. •Механизмы станка, находящиеся в закрытых коробках (шпиндельная бабка и др.), не следует разбирать и промывать. Смазку, покрывающую их детали, оставлять для использования при работе механизмов.

2.3. Монтаж пневмогидрооборудования

Движение звеньев манипулятора ПР осуществляется исполнительными устройствами. В ПР с пневматическим приводом в качестве исполнительных устройств используются пневмоцилиндры, а в ПР с гидравлическим приводом – гидроцилиндры или гидромоторы. Для обеспечения работы приводов ПР применяются различные блоки и устройства: вентили, влагоотделители, пневмоклапаны, маслораспылители, пневмораспределители, пневмодроссели, гидростанции, масляные фильтры, гидрораспреде- лители, гидроклапаны, гидроаккумуляторы, дроссели с регуляторами потока, пневмогидролинии и т. п. Гидро и пневмо приводы используются в металлорежущих станках для вспомогательных движений.

Порядок монтажа пневмогидрооборудования ПР регламентируется технической документацией заводов-изготовителей. Широкая номенклатура ПР с пневматическим и гидравлическим приводами определяет конкретные виды и объем выполняемых монтажных работ. Так, например, для введения ПР типа МП-9С в режим эксплуатации достаточно только подсоединить узел подготовки воздуха к цеховой магистрали и подключить устройство управления ЭЦПУ-6030, ПР типа СМ40.Ф2.80.01 требует предварительного монтажа гидростанции, соединения ее с аппаратурой гидроуправления и гидроприводами. Несмотря на различие объемов монтажных работ ПР конкретных типов существует ряд общих правил и требований, которые заключаются в предварительной подготовке пневмогидроаппаратуры к монтажу, проведении непосредственно монтажных работ, наладке и сдаче в эксплуатацию. Элементы пневмогидрооборудования поступают к потребителю в законсервированном и упакованном виде. В качестве консервирующих веществ применяют гидравлические масла, минеральные масла с антикоррозионными присадками. Упаковку производят в парафинированную или водонепроницаемую бумагу, полиэтиленовую или полихлорвиниловую пленку. При расконсервации изделий необходимо снять внутреннюю упаковку (чехол, бумагу и т. д.). Мелкие изделия следует промыть в уайт-спирите или моечном растворе с добавкой соды кальцинированной или каустиковой, эмульгатора ОП-7, жидкого стекла, Наружные законсервированные поверхности крупногабаритных изделий протирают чистыми салфетками, смоченными в Уайт спирте или бензине. Из внутренних полостей изделий необходимо полностью удалить консервационную жидкость. Не разрешается пользоваться хлопчатобумажными концами, ворс которых может попасть в капиллярные отверстия устройств. После проведения работ по расконсервации элементы пневмогидрооборудования необходимо подвергнуть проверке на работоспособность. Проверку производят на испытательных стендах при рабочем давлении сжатого воздуха или масла. Все обнаруженные неисправности устраняют до монтажа. Трубные проводки, используемые при монтаже, также требуется подвергнуть предварительной обработке. При наружном осмотре отбраковывают трубы, имеющие свищи, рванины, вмятины глубиной более 0,5 мм и овальность свыше 10 % диаметра, Пригодные для монтажа трубы очищают снаружи и внутри и продувают сжатым воздухом.

На металлические трубы должно быть нанесено покрытие, предохраняющее от коррозии. Перед покрытием наружные и внутренние поверхности труб очищают от ржавчины, краски, жира и пыли. Жировые загрязнения удаляют ветошью или кистью, смоченными органическими растворителями. Можно применять и химический способ, который заключается в обработке поверхности труб водными растворами минеральных кислот: серной, соляной, фосфорной и в отдельных случаях азотной. После обработки растворами кислот трубы необходимо промыть водой, обработать 5 %-ным раствором кальцинированной соды, а затем вновь 2-3 раза промыть водой. После сушки поверхности труб грунтуют, а затем покрывают 3 -5 слоями эмали и 2-3 слоями покровного лака. Допускается обработка внутренних поверхностей труб минеральным маслом, используемым в гидросистеме ПРИ. Трубы из красной меди, используемые при монтаже, необходимо отжечь путем нагревания до вишневого цвета с последующим резким охлаждением в воде. После отжига трубы необходимо выпрямить, для чего рекомендуется использовать лебедку и выпрямление производить натягиванием трубы.

Правильный монтаж пневмоцилиндров и гидроцилиндров в значительной степени определяет срок их службы. Цилиндры могут устанавливаться на лапах, фланце (на передней или задней крышке), проушине, цапфе и удлиненных стяжках. Способ монтажа определяется условиями использования цилиндра. Необходимо отметить, что цилиндры, установочная плоскость которых расположена у основания параллельно оси штока, под действием рабочих усилий могут деформироваться. Это приводит к увеличению трения и повышенному износу деталей. Цилиндры должны быть доступны для обслуживания и демонтажа, за исключением тех случаев, когда они выполнены вместе с опорной конструкцией ПР или оборудования. Крепление цилиндров должно быть достаточно прочным и жестким. Соединение штока с приводом желательно осуществлять через шарнир. Затяжка регулируемых уплотнений штока должна обеспечивать герметизацию при допустимых потерях на трение. При монтаже цилиндров на цапфах должно обеспечиваться беспрепятственное качание в пределах заданного угла поворота. Во избежание появления значительных изгибающих нагрузок на штоке и резкого ухудшения условий работы цилиндра

необходимо обеспечить соосность или параллельность штока цилиндра и соединяющегося с ним вала или направляющих ведомого механизма. Погрешность установки в этих случаях не должна превышать 0,05 мм на длине 1 м. При монтаже пневмоцилиндров их рекомендуется располагать вниз отверстиями для подвода воздуха, чтобы исключить возможность сбора конденсата в полостях цилиндра, Гидроцилиндры можно монтировать в любом положении, необходимо лишь обеспечить удобство доступа к устройствам стравливания воздуха. Гидромоторы также могут быть установлены в любом положении: вертикально, горизонтально, наклонно, Вал гидромотора должен соединяться с ведомым механизмом с помощью эластичной муфты, компенсирующей смещение осей. Допустимое радиальное смещение соединяемых осей валов не должно превышать (например, для гидромоторов типа Г16) 0,1 мм и максимальный угол перекоса осей 1°. Дренажный трубопровод должен быть выведен выше вертикального габарита мотора и обеспечивать свободный, без давления, слив масла в бак. Гидромоторы крепят, как правило, к фланцам с помощью винтов. Монтаж направляющей и регулирующей пневмогидроаппаратуры. К этой аппаратуре относятся пневмо- и гидрораспределители, клапаны, дроссели и регуляторы потока. Для управления всеми звеньями ПР, а также перемещения узлов околороботного и технологического оборудования, входящих в состав РТК, используется от одного до нескольких десятков распределителей и дросселей. В последнем случае распределители целесообразно монтировать на панелях. Монтаж должен обеспечивать легкий доступ к пневмогидроаппаратуре для регулирования и технического обслуживания в процессе эксплуатации. Аппаратура, как правило, может монтироваться в любом пространственном положении, Специальные требования на установку оговариваются в руководствах по монтажу и эксплуатации. При монтаже двухпозиционных распределителей с двусторонним электрическим управлением без пружинного возврата необходимо обеспечить горизонтальное положение их продольной оси. Это предотвращает самопроизвольное перемещение золотников при обесточенных катушках электромагнитов и нарушение последовательности цикла работы ПР и РТК в момент пуска. Крановые распределители на вертикальной или наклонной плоскости необходимо монтировать в таком положении, при котором исключается самопроизвольное их переключение под действием веса рукоятки. Пневмо-

и гидрораспределители с резьбовым присоединением монтируют при помощи трубопроводной арматуры с конической резьбой, Распределители со стыковым присоединением монтируют с помощью винтов непосредственно на панельной плоскости или на промежуточных плитах. Монтажная поверхность панелей должна иметь шероховатость менее 1,25 мкм и неплоскостность не более 0,01-0,05 мм на длине 100 мм. Винты для крепления распределителей должны быть изготовлены из сталей с пределом прочности на растяжение не менее 1000 МПа (в комплект поставки распределителей не входят). Во избежание деформации корпусов распределителей затяжка крепежных винтов должна производиться без особых усилий. Герметичность стыкового соединения обеспечивается за счет уплотнений, выполненных в виде резиновых колец и прокладок. Дроссели, пневмо- и гидроклапаны можно монтировать в различных местах системы (непосредственно у исполнительных механизмов, распределителей, на трубопроводной магистрали). При их монтаже необходимо обеспечить удобство доступа для регулировки и возможность визуального наблюдения при ее выполнении за действиями исполнительных механизмов. При монтаже регулирующей пневмогидроаппаратуры необходимо следить за совпадением направлений движения рабочего тела в системе и установочной стрелки на корпусе прибора.

При монтаже пневмогидропанелей, поступающих с заводов-изготовителей с готовой внутренней разводкой, производится лишь подключение их к исполнительным механизмам с помощью внешних трубопроводных магистралей.

Располагать пневмогидропанели с пускорегулирующей аппаратурой следует группами, вблизи исполнительных механизмов, но вне рабочего пространства ПР. Если панели содержат большое число пускорегулирующей аппаратуры и требуют подключения множества исполнительных механизмов, то разъемные стыки подводящих и отводящих трубопроводов следует располагать в нескольких плоскостях. Трубные проводки при этом рекомендуется подсоединять на резьбах или зажимных кольцах, а шланги на ниппелях с обжатием хомутом.

Высокую производительность и качество проведения монтажных работ можно обеспечить при использовании пускорегулирующей аппаратуры модульного исполнения. В отличие от аппаратуры стыкового

монтажа с одной стыковой плоскостью, эта аппаратура имеет две стыковые плоскости с одинаковыми координатами присоединительных отверстий, расположенных на корпусе сверху и снизу. Это позволяет устанавливать различные аппараты один на другой в вертикальный столбик (пакет), замыкаемый сверху распределителем, плитой связи или плитой-заглушкой. Пакеты могут наращиваться как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях (рис. 2.3). Уплотнение соединений плит и аппаратуры обеспечивается резиновыми кольцами, а крепление пакетов к монтажной плите и плит между собой осуществляется с помощью сквозных стяжек или винтов. Монтаж устройств подготовки рабочего тела. В ПР с пневматическим приводом обязательным блоком является блок подготовки воздуха. В одних конструкциях такой блок предусматривается для каждого ПР, в других – для группы ПР. Блок подготовки воздуха монтируется, как правило, на элементах конструкций (корпусе, станине) ПР. При монтаже необходимо убедиться в правильности установки влагоотделителя, редукционного клапана и маслораспылителя (указательные стрелки по направлению движения сжатого воздуха).

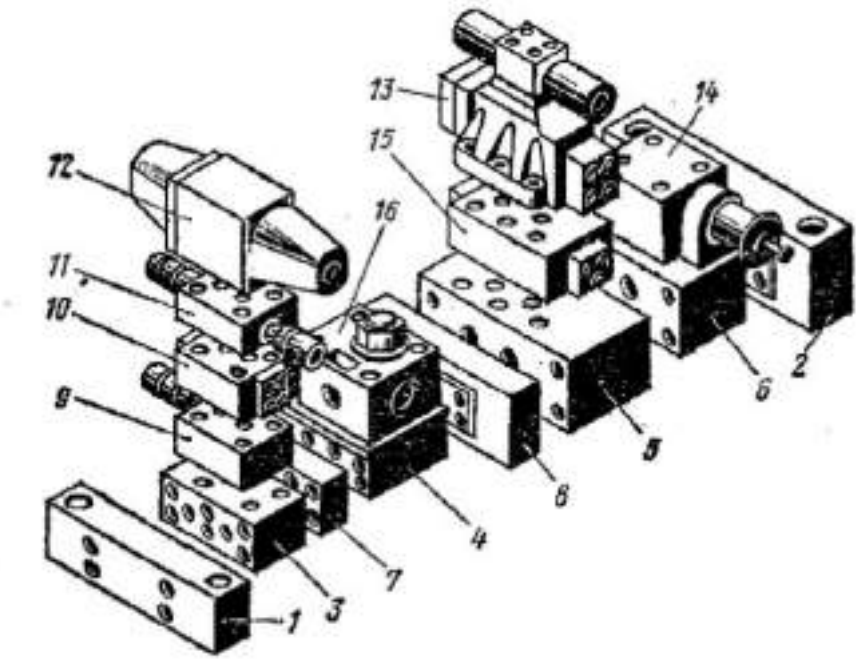


Рис. 2.3. Модульный монтаж пневмогидроаппаратуры:
1, 2 – крепежные плиты; 3-6 – монтажные плиты;
7,8 – переходные плиты; 9-16 – элементы пневмогидроаппаратуры
(распределители, дроссели, клапаны; регуляторы потока и т.п.)]

Стеклянные колпаки влагоотделителя и маслораспределителя должны быть направлены вертикально вниз; место их установки должно обеспечивать удобство слива влаги, залива свежего масла и наблюдения за уровнем масла в процессе работы ПР. В ПР с гидравлическим приводом питание гидросистемы осуществляется от насосной установки (гидростанции), обеспечивающей очистку рабочей жидкости от твердых частиц и влаги, создание и поддержание заданного давления жидкости в напорной магистрали, охлаждение или нагрев жидкости до рабочей температуры.

ПР комплектуются гидростанциями в собранном виде. Монтаж таких гидростанций заключается в выставке на подкладках и закреплении анкерными или крепежными болтами бака-отстойника со смонтированным на нём оборудованием. При монтаже необходимо предусмотреть удобство доступа к фильтрам и горловине для заливки масла, сливному отверстию, смотровым люкам, а также удобство наблюдения за приборами-указателями давления и уровня масла. Защитные кожухи не должны препятствовать циркуляции воздуха для охлаждения.

В системах пневматического и гидравлического приводов ПР исполнительные механизмы, аппаратура управления и регулирования, вспомогательная аппаратура соединяются между собой с помощью металлических трубопроводов, резиновых рукавов, гибких металлических рукавов, шлангов и полиэтиленовых труб. Выбор типа проводок зависит от рабочего давления и температуры, агрессивности рабочего тела и внешней среды, вида соединения стыков, условий гибки и монтажа. Так, например, трубы из углеродистых сталей применяются в неагрессивных средах при температуре до 250 °С. Трубы из нержавеющих сталей применяются при температурах до 500 °С и обладают повышенными по сравнению с трубами из углеродистых сталей прочностью и коррозийной стойкостью в агрессивных средах. Трубы из меди используются при температурах до 150 °С и давлениях до 25 МПа. Они устойчивы к воздействиям атмосферы и морской воды. Трубы из меди отличаются высокой гибкостью, удобны для применения на коротких участках со сложными изгибами и при необходимости подгонки в процессе монтажа.

Жесткие трубные проводки применяются для монтажа неподвижной аппаратуры. Наиболее рационально применение цельных трубопроводов с минимальным числом соединений.

Гибкие проводки применяются в тех случаях, когда необходимо подвести сжатый воздух или рабочую жидкость к устройствам, закрепленным на узлах и механизмах, имеющих относительное перемещение, или поочередно к различным потребителям от одного источника. Гибкие проводки обеспечивают удобство монтажа, особенно в труднодоступных местах.

Внутренний диаметр канала, трубы или рукава пневмогидропроводок определяется по формуле $d = \sqrt{4Q/\pi\upsilon} = 1{,}13\sqrt{Q/\upsilon}$, где Q – расход рабочего тела (воздуха, жидкости), $м^3/с$; υ – скорость потока рабочего тела, м/с.

Оптимальные скорости движения воздуха или потока жидкости зависят от многих факторов. На основании практических данных рекомендуются следующие величины скоростей, м/с:

Воздуха

В магистральных трубопроводах … 6 – 12

В подводящих трубопроводах … 16 – 40

Рабочей жидкости

В напорных гидролиниях … 5 – 10

В сливных гидролиниях … 2 – 2,5

Во всасывающих гидролиниях … 0,5 – 1,5

Толщина стенки труб определяется по формуле $\delta = p_{max}D/2\sigma_{доп} = p_{max}D_n/2\sigma_в$, где p_{max} – максимальное давление рабочего тела, Па; D – наружный диаметр трубы, м; $\sigma_{доп}$ – допустимое напряжение материала трубы, Па; $\sigma_в$ – предел прочности материала трубы, Па (для труб из стали 20 $\sigma_в$ = 140 МПа); n – коэффициент запаса прочности (n = 3÷6).

Разметку и разрезку труб на нужные длины обычно производят в монтажно-заготовительных мастерских. Для этого используется разметочно-отрезной агрегат, позволяющий получать детали трубопроводов с точностью ± 1 мм. Затем производится гибка труб. Трубы изгибают по шаблонам, изготовленным из стальной проволоки по месту установки трубопровода, либо по монтажным чертежам. Гибку можно производить как в холодном, так и в горячем состоянии. Нагрев труб на монтажно-заготовительном участке осуществляют на стыковых электросварочных машинах, а в монтажной зоне – с помощью газосварочных горелок. Трубы диаметром до 1 ½″ гнутся, как правило, с помощью ручных трубогибов, а 2″ и более – на трубогибочных станках.

Радиусы изгиба труб, работающих под давлением, ограничиваются значениями, при которых не происходит существенного сниже-

ния их статической и усталостной прочности. Минимальный допустимый радиус внутренней кривой изгиба труб должен быть для:

– медных труб – не менее 2D (D – наружный диаметр);

– стальных и полиэтиленовых труб, изгибаемых в горячем состоянии, отожженных труб из алюминия и алюминиевых сплавов, для полихлорвиниловых труб – не менее 3D;

– остальных труб, изгибаемых в холодном состоянии, – не менее 4D;

– полиэтиленовых труб, изгибаемых в холодном состоянии, – не менее 6D.

При монтаже труб необходимо соблюдать следующие требования: трубы, прокладываемые вдоль корпусных деталей, должны следовать их контуру; трубы не должны закрывать съемные детали, крышки, окна для транспортирования, карманы для болтов в станине и т.п.; трубы необходимо устанавливать с небольшим уклоном в сторону устройств подготовки рабочей среды для обеспечения возможности удаления конденсата; при использовании ресиверов подсоединение трубопровода необходимо производить в верхней точке ресивера; при скрытой прокладке труб в бетонных каналах заглубление должно быть не менее 20 мм от поверхности пола.

Крепление труб к опорным конструкциям производят с помощью скоб или колодок (рис. 2.4).

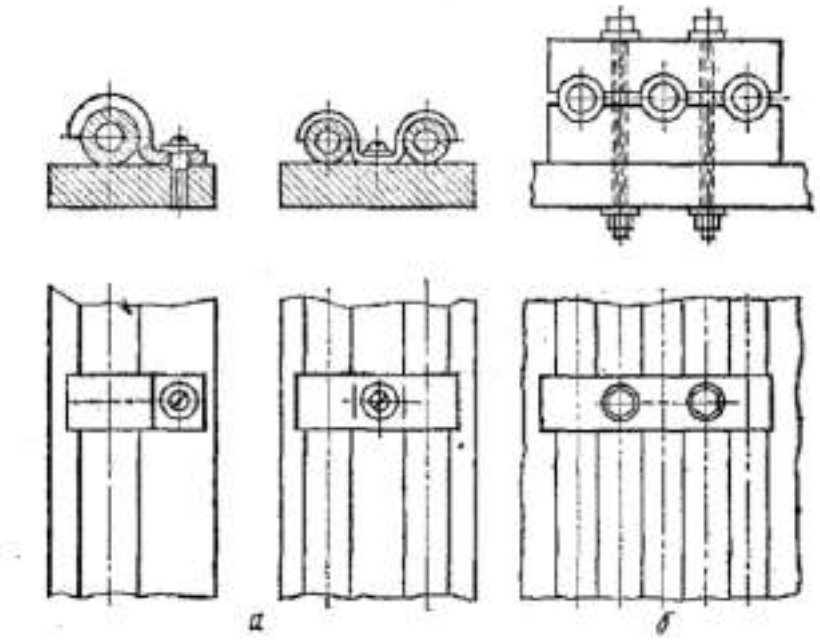


Рис. 2.4. Крепление трубопроводов:
а – с помощью скоб; б – с помощью колодок

Расстояние между крепежными элементами трубных проводок должно быть для:

– трубопроводов из цветных металлов на горизонтальных участках 0,6 – 0,8 м, на вертикальных 1 м;

– стальных трубопроводов диаметром 8 – 14 мм на горизонтальных участках 0,75 м, на вертикальных – 1 – 1,5 м;

– стальных трубопроводов диаметром 22 – 60 мм на горизонтальных участках 2 – 4 м, на вертикальных – 3 – 5 м;

– пластмассовых трубопроводов диаметром 6 – 10 мм на горизонтальных участках 0,3 м, на вертикальных – 0,5 м.

Расстояния между опорными конструкциями трубных проводок (полками, кронштейнами, консолями, пакетными скобами и т.п.) должны быть такие же, как и между крепежными элементами для одиночных труб и могут быть несколько больше для групповых (блочных) проводок.

Соединения трубных проводок могут быть неразъемными и разъемными.

Неразъемные соединения (рис.2.5) применяются для трубопроводов, не требующих демонтажа. Их выполняют сваркой встык, в раструб и с применением безрезьбовых муфт. Соединение трубопроводов встык требует обязательного провара кромок на всю толщину. Для этого на торцах свариваемых труб делают фаску под углом 60 – 70 °. Стыковой способ сварки не гарантирует отсутствия шлака на внутренней поверхности трубы в месте сварки.

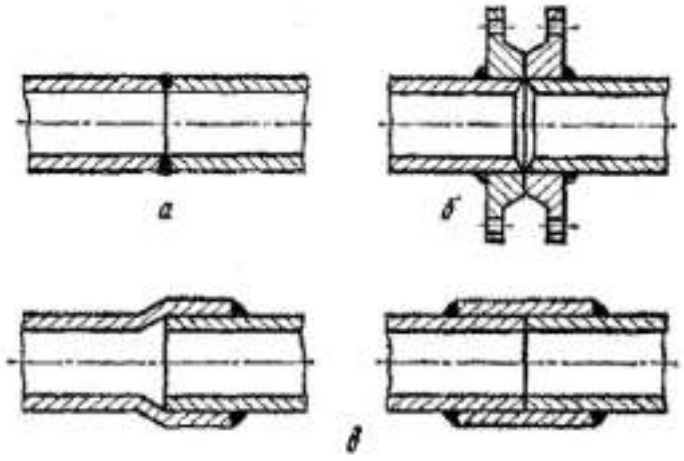


Рис. 2.5. Неразъемные соединения трубопроводов:
а – встык; б – при помощи безрезьбовой муфты; в - враструб

Полностью исключается попадание шлака на внутренние поверхности труб при сварке их враструб или с применением безрезьбовых муфт. При этом также облегчается процесс сварки. Неразъемные соединения полиэтиленовых труб так же выполняют сваркой встык или в раструб. Для образования раструба используют нагретую металлическую оправку соответствующего диаметра. Длина раструба должна быть примерно равна наружному диаметру соединяемых труб. Затем внутреннюю поверхность раструба и наружную поверхность конца трубы оплавляют на специальном металлическом блоке, нагретом предварительно до 220–260 °С, и производят соединение. Сварка встык выполняется путем предварительного нагрева и оплавления на длине 3-4 мм концов труб при температуре 250-300°С с последующим их прижатием и выдержкой для охлаждения не менее 2 мин. Неразъемные соединения полихлорвиниловых труб выполняют склеиванием. Для этой цели применяют 20 % - ный раствор поливинилхлоридной смолы в обезжиренном ацетоне. На одном конце трубы делается раструб. После обезжиривания склеиваемых поверхностей ацетоном тонким слоем наносят клей, дают подсохнуть в течение 25–30 мин, затем наносят еще один слой и соединяют. Для схватывания склеиваемые трубы выдерживают без нагрузки в течение 2,5–3 ч. При выполнении неразъемных соединений медных или латунных труб сварку заменяют пайкой. К разъемным относятся соединения, позволяющие производить разборку без нарушения целостности соединяемых труб или без их вращения. Применяется четыре основных вида соединения труб: по наружному и внутреннему конусам, с уплотнительным кольцом и фланцевые (рис. 2.6).

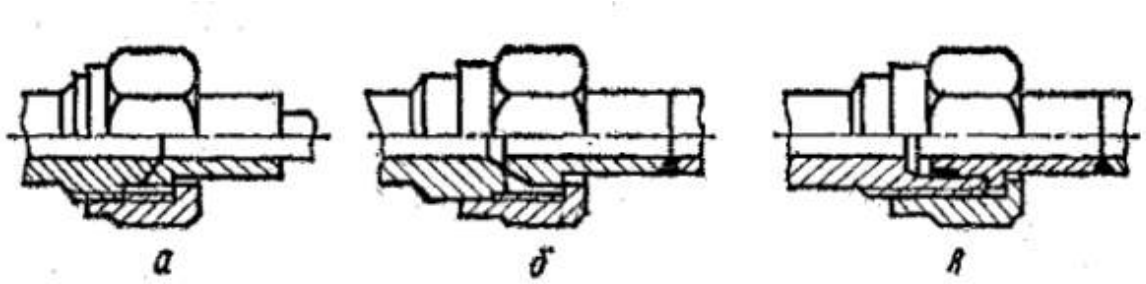


Рис. 2.6. Разъемные соединения трубопроводов:
а – по наружному конусу; б – по внутреннему конусу;
в – с уплотнительным кольцом

Первые три вида соединений обеспечивают герметичность за счет обжатия или прижатия конца трубы или полусферического ниппеля к штуцеру с помощью накидной гайки. Фланцевое соединение применяется для труб диаметром более 40 мм и обеспечивает герметичность за счет стягивания болтами двух фланцев, приваренных к концам труб. Между торцевыми поверхностями фланцев помещается прокладка из резины или паронита. Для монтажа разъемных соединений стальных тонкостенных труб применяются присоединения (рис. 2.7): прямые концевые, угловые концевые, тройниковые концевые, медных или также промежуточные (прямые и тройниковые).

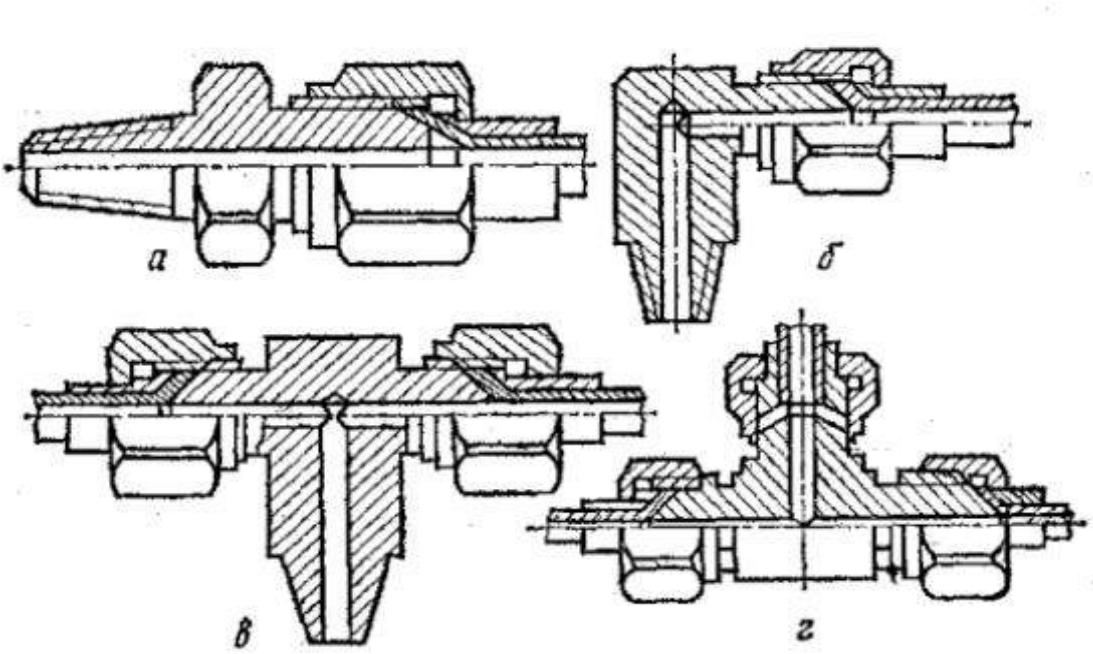


Рис. 2.7. Конструкция присоединений:
а – прямое концевое; б – угловое концевое; в – тройниковое концевое; промежуточное

Данные соединения рассчитаны на номинальное давление до 6,3 МПа (для медных труб) и до 12,5 МПа (для стальных труб). При затяжке гайки ниппель прижимает развальцованный конец трубопровода к конусной поверхности штуцера, обеспечивая герметичность соединения. Шланги и рукава, используемые для подвода сжатого воздуха к подвижным исполнительным и устройствам, монтируют на ниппеле с кольцевыми проточками и обжимают хомутами, Такие соединения используются для давлений до 0,5 МПа. При больших давлениях рукава

зажимаются между ниппелем и резьбовой муфтой. Для систем гидравлики и давлений до 30 МПа применяются гибкие металлические рукава высокого давления, которые поставляются с резьбовой фланцевой или специальной арматурой.

Техника безопасности при монтаже пневмогидрооборудования ПР

При подготовке пневмогидрооборудования к монтажу, чистке и промывке бензином или уайт-спиритом необходимо обеспечить соответствующую вентиляцию. Обтирочный материал после употребления следует убрать в металлический ящик с крышкой. Запрещается производить работы с применением открытого огня (сварка, резка и пр.) вблизи оборудования в период расконсервации (обработка бензином, уайт-спиртом).

При работе с отрезными и шлифовальными кругами необходимо убедиться в надежности их закрепления и наличии ограждающего кожуха. При гибке труб должна быть очищена поверхность (пол). Используемые стационарные или передвижные трубогибочные и другие приспособления должны иметь предохранительные отключающие устройства, а также заземление и зануление.

При работе с кислотами и щелочами опасные зоны должны быть ограждены. Рабочие, занятые на химической обработке трубопроводов, должны пройти специальное обучение и иметь защитную одежду (очки или маску, резиновые рукавицы и сапоги, шерстяные куртки и брюки). Необходимо соблюдать особую осторожность при сливе или выдувании кислоты из трубопроводов, так как при этом возможно разбрызгивание кислоты и попадание е на открытые участки тела.

При производстве электросварочных работ сварочные кабели должны находиться в технически исправном состоянии н не иметь оголенных частей. Обратный кабель от сварочного агрегата должен подсоединяться непосредственно к свариваемому предмету.

При использовании газосварочных аппаратов необходимо надежно закрепить баллоны с кислородом и ацетиленом. Шланги должны соответствовать назначению и их соединение между собой н аппаратурой должно производиться инвентарными хомутами. Особо опасно соприкосновение кислорода с маслом, поэтому пользоваться промасленными рукавицами и спецодеждой при работе с кислородными баллонами запрещается.

Соединение трубопроводов, подтяжка и обтяжка аппаратуры и шлангов должны производиться при полностью снятом давлении. Торцовые и гаечные ключи, используемые при установке аппаратуры и соединений, должны быть исправны и соответствовать по размеру.

2.4. Монтаж устройств управления и электрооборудования роботов и мехатронных систем

Устройства (системы) управления ПР и мехатронных модулей в зависимости от конструкции могут быть встраиваемые и выносные. Наибольшее распространение получили выносные устройства управления, выполненные в виде отдельного приборного шкафа, внутри которого расположены элементы и аппаратура силового питания приводов ПР, блоки управления, памяти, преобразования информации. В верхней части шкафа располагается пульт оператора с выведенными на него органами включения-выключения питания, выбора режима работы, набора отрыто проложенные заземляющие проводники в местах, где возможно их механическое повреждение, должны быть защищены. Защита может быть осуществлена стальной трубой, плетеным чехлом и др. Присоединение заземляющих проводников к заземляемым элементам должно быть выполнено надежным болтовым или винтовым соединением с принятием мер против ослабления контакта (установка контргаек, пружинных шайб и т. д.). Заземление оборудования, подвергающегося частому демонтажу, следует выполнять при помощи гибких медных заземляющих проводников сечением не менее 4 мм^2 (для малогабаритного оборудования допускается 1,5 мм^2). Оконцовывание медных заземляющих проводников должно выполнено с помощью привариваемых к ним кабельных наконечников. Ответвления к однофазным электроприемникам для их заземления должно осуществляться отдельным (третьим) проводником. Использование для этой цели нулевого (рабочего) провода ответвления запрещается. В целом система заземления ПР должна быть выполнена таким образом, чтобы при снятии любого из заземляемых элементов не нарушалась целость всего заземления.

Техника безопасности. Монтаж электрооборудования ПР и мехатронных систем должен производиться только при отключенном пи-

тающем напряжении. Электрифицированный инструмент, используемый при монтаже, должен быть заземлен. Крепление электрических аппаратов на несущих конструкциях (панелях, пультах и т. д.) должно производиться стационарными крепежными изделиями без сорванных резьб, шлицев и граней с необходимой затяжкой резьбовых соединений и принятием мер от самопроизвольного развинчивания. При затяжке проводов в трубы стальная проволока не должна иметь заломов и сростков и должна иметь надежное соединение со всеми затягиваемыми проводами. При продувке защитных труб нельзя стоять против открытых концов труб и протяжных или соединительных коробок. Во время затягивания проводов в трубы необходимо предусмотреть меры против падения рабочего в случае отрыва натянутой проволоки. Направлять затягиваемые провода в защитные трубы необходимо таким образом, чтобы не произошло захвата пальцев рук проводами и затяжки их в трубу. Затяжку проводов в трубы на высоте нельзя производить стоя на приставной лестнице или стремянке; для этой цели следует пользоваться лесами, специальными настилами или площадками. Перед прокладкой кабеля по кабельным конструкциям в помещении каналах, кабельных сооружениях должны быть тщательно проверены прочность крепления и устойчивость этих конструкций. Кабель при этом предварительно раскатывают по полу или по дну кабельного канала.

Монтаж информационных систем

Информационные системы по назначению делятся на три группы: внутренней информации ПР, восприятия внешней среды и обеспечения техники безопасности. **Система внутренней информации ПР** содержит датчики оценки положения и скорости перемещения звеньев ПР, а также датчики, обеспечивающие блокировку движения ПР при появлении случайных сбоев. Для цикловых ПР наибольшее распространение получили путевые конечные выключатели типов ВК-200, ВК-300, ВКП-1000, ВКП-2000, ВКП-4000, а также бесконтактные конечные выключатели типов БВК, У143 и У511. Для определения величины линейных или угловых перемещений звеньев манипулятора используется потенциометры, вращающиеся трансформаторы, индуктосины, цифровые датчики типа перемещение – фаза – код.

Контактные выключатели срабатывают в результате непосредственного механического воздействия упора управления на приводной

элемент выключателя (рычаг с роликом, толкатель и др.), поэтому необходимо, чтобы ход упора был несколько больше рабочего хода выключателя, но вместе с тем не превышал бы величины полного хода, допустимого для данного выключателя.

Контактные или путевые выключатели обычно монтируют вблизи рабочих зон перемещаемых механизмов и крепят винтами через крепежные отверстия к неподвижной части узлов ПР. Если контактный выключатель используется для фиксации определенной точки при движении звеньев ПР, например, точки синхронизации, то в этом случае взаимодействующий с выключателем упор имеет конструкцию, обеспечивающую прохождение его по обе стороны от выключателя (рис 2.8). Для обеспечения возможности подстройки положения упора он должен иметь продольные пазы длиной 15-20мм.

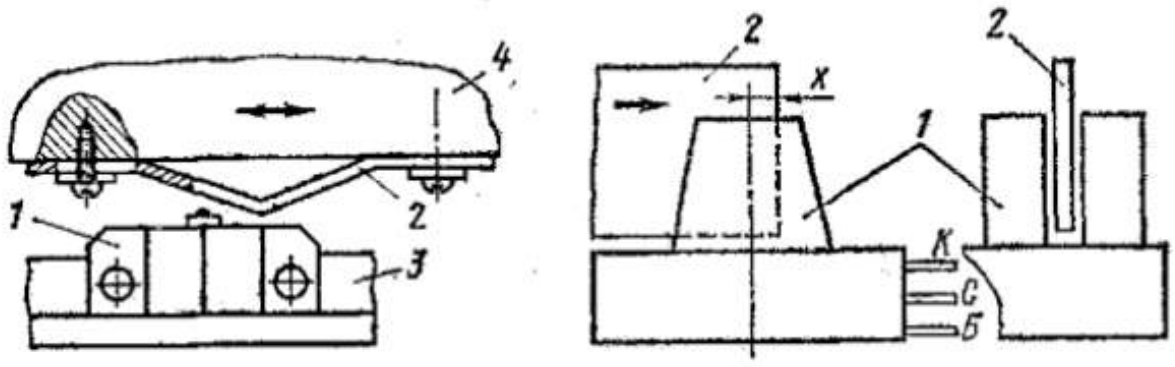


Рис. 2.8. Монтаж конечного выключателя

Бесконтактные конечные выключатели типа БВК также монтируют на неподвижных узлах ПР и оборудования с помощью винтов. Они имеют щелевидную рабочую зону, поэтому на подвижном элементе или звене ПР с помощью винтов закрепляют алюминиевую пластину толщиной 3 мм и шириной 30 мм. Срабатывание датчика происходит при переходе кромки пластины за центр рабочей зоны на величину от 0 до 4 мм (в зависимости от характеристики выключателя).

Наибольшее распространение в робототехнике получили бесконтактные конечные выключатели пальчикового типа. На рис. 2.9 представлена конструкция индуктивного бесконтактного переключателя фирмы “Баллуфф” (ФРГ).

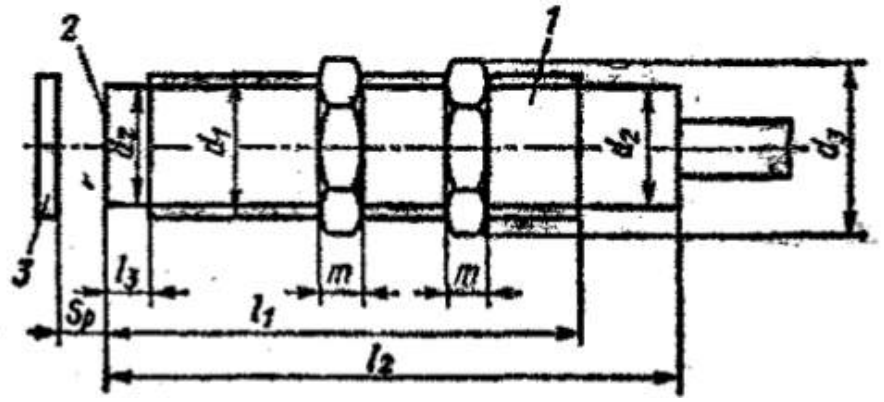


Рис. 2.9. Конструкция индуктивного бесконтактного переключателя фирмы “Баллуфф” (ФРГ)

Они имеют цилиндрическую конструкцию с металлическим или пластмассовым корпусом 1 и могут устанавливаться на специальных кронштейнах, либо встраиваются в металл заподлицо или незаподлицо. Срабатывание датчика происходит при приближении к его активной поверхности 2 измерительной пластинки 3 из стали толщиной 1 мм квадратной формы со стороны квадрата, равной диаметру датчика. Рабочий зазор переключения S_p=2/20 мм (в зависимости от типа датчика). При использовании латунной измерительной пластинки рабочий зазор уменьшается вдвое.Отечественная промышленность выпускает аналогичные датчики типа У551 с рабочим зазором 1, 2, 4 мм и ДКП с рабочим зазором 1 и 2 мм. При монтаже датчиков на кронштейне с помощью крепежных гаек выставляется номинальный рабочий зазор от торцевой поверхности датчика до измерительной пластинки, наклеенной на подвижное звено. Датчики пальчикового типа могут быть встроены в металл. Если необходимо расположить рядом два датчика, то расстояние между их центрами должно быть равно или больше двух их диаметров. Если датчики не позволяет встраивать его в металл до уровня активной поверхности то для обеспечения его работоспособности с заданными параметрами должна быть обеспечена свободная от металла зона. Соединительные провода от датчиков при монтаже рекомендуется прокладывать в резиновых патрубках соответствующего диаметра с нахлестом на корпус датчика. При монтаже датчиков, регистрирующих перемещение звеньев манипулятора, их скорости и ускорения, необходимо обеспечить кинематическую связь перемещаемого звена с датчиком.

Основные варианты конструктивных схем связи датчика со звеном манипулятора приведены на рис. 2.10.

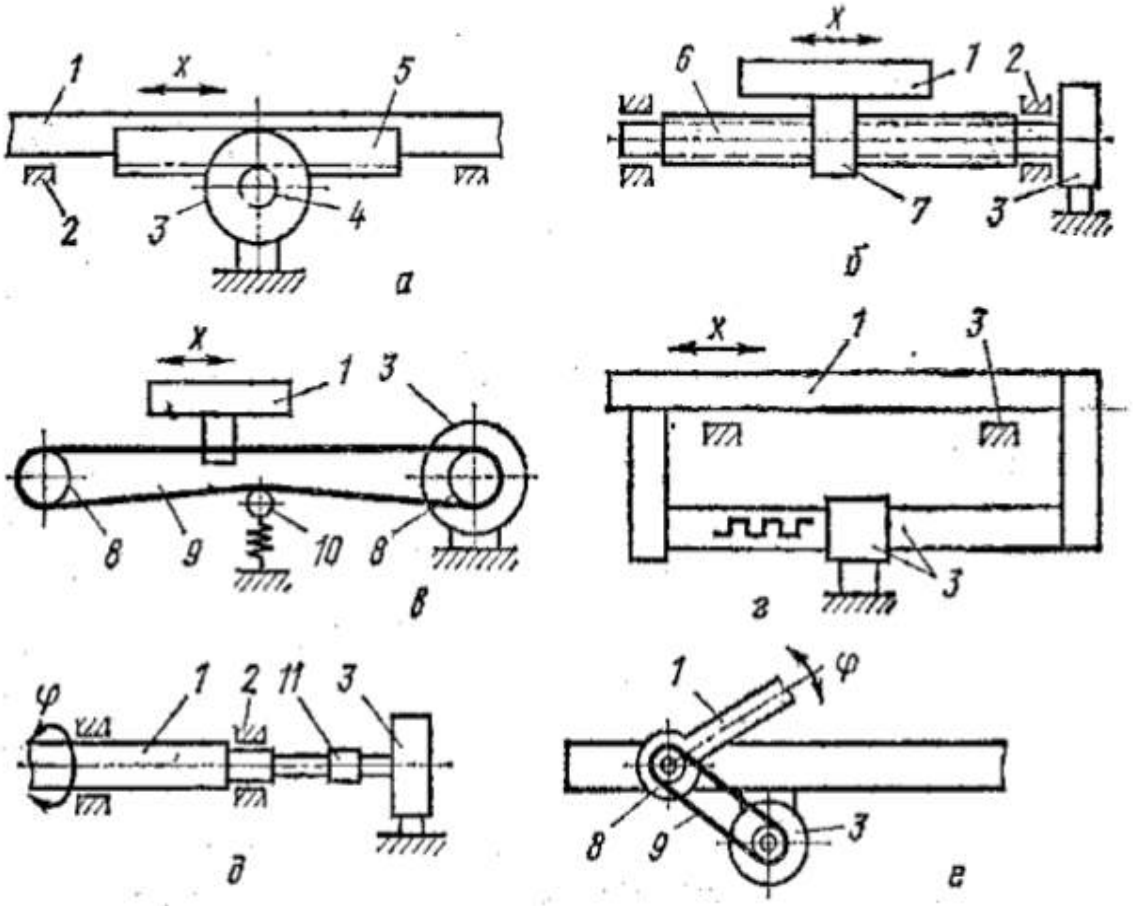


Рис. 2.10. Основные варианты конструктивных схем связи датчика со звеном манипулятора

На практике обычно отдается предпочтение вращательным датчикам перемещений, так как они более технологичны, отличаются относительной легкостью подсоединения к измеряемому звену и обеспечивают хорошую разрешающую способность. Датчики перемещения либо непосредственно подсоединяются к подвижному элементу, либо соединяются с ним посредством механической передачи того или иного типа. На рис. 2.10, а приведен вариант связи поступательно перемещающегося звена 1 с вращательным датчиком 3 с помощью зубчатого колеса 4 и зубчатой рейки 5. Точность измерений перемещения x определяется в первую очередь погрешностью зубчатого зацепления и качеством механической обработки.

В схеме, приведенной на рис 2.10, б, вращение ходового винта 6 вызывает линейное перемещение х гайки 7, к которой крепится подвижное звено 1. С ходовым винтом связан вал вращательного датчика 3, измеряющего угол поворота ходового винта 6, а следовательно, и перемещение х звена 1. Погрешность измерения этой схемы зависит от механического преобразователя вращательного движения в линейное, что определяется точностью ходового винта, гайки, опорных подшипников 2 и качеством сборки механической передачи. Более точную передачу движения на вращательный датчик 3 можно обеспечить (Рис. 2.10, в) с помощью гибкого тросика 9, шкивов 8 и устройства натяга 10. Следует отметить, что при измерении линейного перемещения подвижного звена наибольшую результирующую точность обеспечивает вариант с непосредственным подсоединением к подвижному звену линейного датчика перемещения (рис. 2.10, г), так как механическая передача между подвижным звеном 1 и датчиком 3 лишь увеличивает погрешность измерения перемещения. Аналогично при измерении углового перемещения подвижного звена 1 предпочтителен вариант подсоединения к нему вращательного датчика 3 либо непосредственно, либо с помощью соединительной муфты 11(рис. 2.10, д). Если конструкция манипулятора не позволяет осуществлять такой вариант, то ось подвижного звена 1 можно связать с входным валом вращательного датчика 3 механической передачей, в частности, в виде шкивов 8 и гибкого тросика 9 (2.10, е).

В системах восприятия внешней среды наибольшее применение находят системы технического зрения. В качестве датчиков в таких системах используют телевизионные передающие трубки (видиконы) либо полупроводниковые матричные формирователи сигналов изображения на основе фотодиодных матриц. Монтаж датчиков систем технического зрения производят преимущественно на конце руки или рабочих органах ПР. При этом необходимо обеспечить надежное крепление датчиков и одновременно создать условия для возможности обзора области захвата объектов манипулирования. Видиконы и матричные формирователи не должны мешать работе рабочих органов ПР и не должны быть повреждены объектами манипулирования в любых рабочих ситуациях. На рис. 2.11 показан пример установки видикона 2 на фланце руки ПР 1. К этому же фланцу посредством разъема крепится рабочий орган 3 с матрицей пневматических присосок 4.

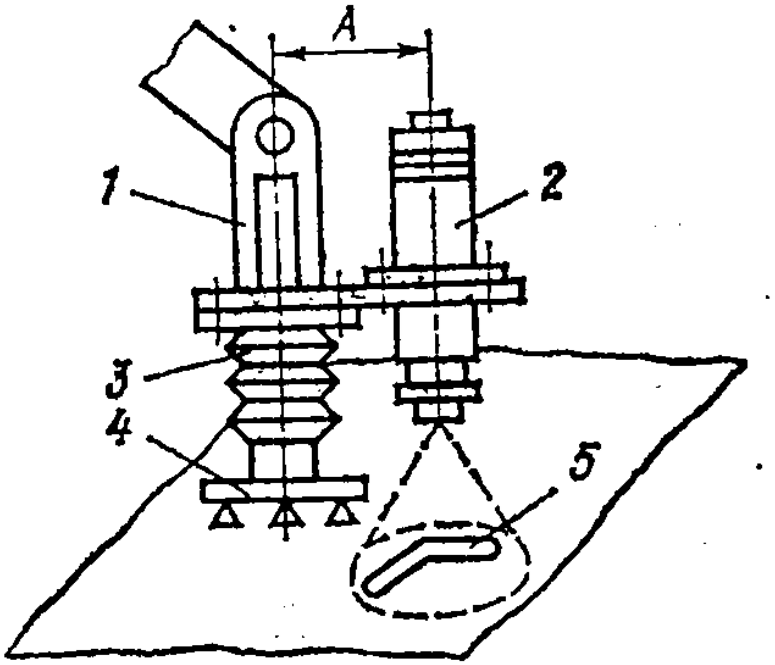


Рис. 2.11. Монтаж видеокамеры на руке робота

Оси руки ПР и видикона смещены в горизонтальной плоскости на расстояние А, определяемое конструктивными размерами элементов. В процессе работы ПР с помощью видикона осуществляет поиск объекта 5 на плоскости захвата. Затем координаты объекта переносятся в память устройства управления и ПР перемещается в направлении центра объекта на величину фиксированного расстояния А для захвата.

Электрические машины и аппараты в зависимости от их веса и габаритов поступают на монтаж от заводов-изготовителей в собранном или разобранном виде в соответствующей упаковке. Выгружают их с транспортных средств кранами и в исключительных случаях на катках по наклонным настилам, хранят в сухих вентилируемых помещениях. Части машин, подверженные коррозии, покрывают слоем технического вазелина или какой-либо другой смазки. Шейки валов покрывают антикоррозионной смазкой, обертывают влагонепроницаемым материалом и защищают от механических повреждений. При приемке электрических машин и аппаратов под монтаж проверяют их целостность, соответствие заводских характеристик проектным и комплектность. Во избежание повреждения машин и аппаратов их распаковывают осторожно в закрытом, сухом и чистом помещении, недоступном для посторонних лиц. Помещения для установки электрических машин

и аппаратов принимают от строительных организаций под монтаж в состоянии, годном для нормального ведения работ, и с готовыми фундаментами для машин.

Помещения должны иметь проемы в стенах и перекрытиях для транспортирования тяжелого и крупногабаритного электрооборудования. Если проектом предусмотрена закладка в фундаменты стальных труб, предназначенных для прокладки в них проводов или кабелей, электромонтажная организация укладывает их еще до бетонирования фундамента, одновременно с вязкой арматуры.

Размеры помещений, основные размеры фундаментов, размещение и размеры колодцев под анкерные болты, проемов и ниш, размещение осей фундаментов проверяют по данным чертежей проекта.

Непосредственно перед началом монтажа производят ревизию и регулировку электрических машин и аппаратов. При ревизии проверяют крепление обмоток, наличие доски с выводными зажимами, исправность активной стали, отсутствие вмятин, задиров, ржавчины, состояние выводов обмоток, коллектора и щеточных устройств у машин постоянного тока и контактных колец у машин переменного тока, шеек валов, правильность соединений обмоток, величины зазоров, сопротивление изоляции обмоток. У электрических аппаратов проверяют и регулируют одновременность включения контактов, раствор контактов, работу механизмов зацепления и срабатывания и др.

Обнаруженные мелкие дефекты устраняют собственными силами. Для устранения серьезных дефектов аппараты отправляют на завод-изготовитель или в специальные ремонтные мастерские. Машины и аппараты, прибывающие на монтаж в собранном виде, разбирают только в том случае, если возникают сомнения в их исправности после транспортировки и хранения. Разборку и последующую сборку машин и аппаратов производят так, как это указано в инструкции завода изготовителя. На первой стадии монтажа низковольтной пускорегулирующей аппаратуры, приборов контроля и защиты в соответствии с общим принципом организации электромонтажных работ размечают и пробивают гнезда, проемы и отверстия в строительных основаниях для крепления и заделки в них опорных конструкций или крепежных деталей.

Разметку ведут по отметкам чистого пола, наносимым на стенах или перегородках (представителями строительной организации) чер-

ной краской в виде полос шириной 10 и длиной 100–150 мм, в соответствии с данными чертежей проекта или по размерам, снятым с натуры, пользуясь шаблонами для ускорения этой операции. (Последнее особенно целесообразно при установке большого количества однотипного оборудования.) Разметку начинают с нанесения основных вертикальных и горизонтальных осей мест установки оборудования, а затем размечают места заделки опорных конструкций или крепежных деталей (болтов, шпилек, дюбелей и т. п.). На металлических опорных поверхностях оборудование крепят или непосредственно винтами и болтами, или с помощью конструкций, привариваемых электросваркой к металлическим опорным поверхностям. Крепежные детали и опорные конструкции, если они не выпускаются заводами, изготовляют в мастерской по эскизам группы подготовки производства или чертежам проекта. В мастерской выполняют также ревизию низковольтных аппаратов и подготовку их к установке.

2.5. Монтаж роботизированных технологических комплексов

При монтаже роботизированного технологического комплекса особое внимание нужно уделять системе обеспечения техники безопасности. Системы обеспечения техники безопасности осуществляют аварийную блокировку работы ПР при воздействии на отдельные его части и узлы предельных усилий, а также при попадании в рабочую зону ПР людей. Ограждение рабочей зоны ПР может выполнено на базе устройств с контактными, силовыми, ультразвуковыми, индукционными, светолокационными и другими датчиками. К числу таких устройств относятся трапики, переходные мостики, буфера, чувствительные матрицы.

Система светозащиты рабочей зоны ПР, выполненная по модульному принципу и обеспечивающая эффективную защиту человека при любых конфигурациях РТК. В состав системы входят стойки светоизлучателей и фотоприемников, применяемых попарно, а также блок логических преобразователей. В состав стойки светоизлучателя входят излучатель, сигнальный светофор и кнопка сброса, а в состав стойки фотоприемника - приемник, сигнальный светофор, кнопка сброса и плата усиления выходного сигнала фотоприемника. Стойки излучате-

лей и фотоприемников предназначены для регистрации момента появления человека в соответствующей зоне рабочего пространства ПР. На рис.2.12 приведены типовые конфигурации РТК и места монтажа светолокацнонных стоек. Светоизлучатели и фотоприемники рекомендуется крепить на стойках на высоте 0,8 – 1 м от уровня пола.

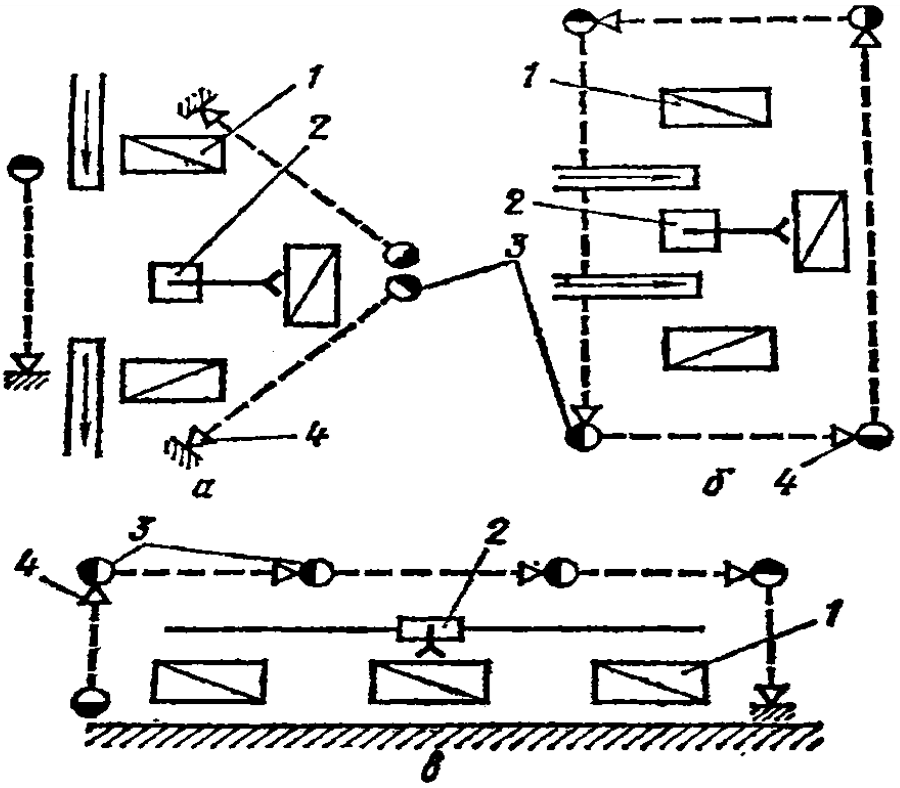


Рис. 2.12. Типовые конфигурации РТК
1 – технологическое оборудование, 2 – ПР,
3 – светоизлучатель, 4 – фотоприемник

Луч света должен быть сфокусирован и освещать поверхность фотоприемника, работающего в паре со светоизлучателем. На этих же стойках размещаются кнопки сброса аварийной блокировки.

Пересечение светового луча при входе человека в зону рабочего пространства приводит к включению всех лампочек-светофоров стоек, ограничивающих эту зону. Таким образом, осуществляется сигнализация запрещенной для работы ПР зоны рабочего пространства (рис 2.12, а). Если ПР находится в этой зоне, либо входит в нее, что регистрируется соответствующими бесконтактными выключателями, то формируется команда на аварийное торможение и выключение движения робота (рис. 2.12, б). При необходимости может быть вновь дано

разрешение на одну из кнопок «Сброс», находящихся на стойках, ограничивающих запрещенную зону работы ПР (рис. 2.12, в).

В целях большей безопасности обслуживающего персонала помимо светозащиты предусматривают монтаж дополнительных устройств, одним из которых являются выдвижные упоры, расположенные в местах, ограничивающих работу зоны ПР. При появлении в этой зоне человека упоры выдвигаются (как по команде оператора, так и по сигналу устройства светозащиты) и препятствует перемещению ПР в эту зону.

Если РТК имеет круговое ограждение с одной или несколькими калитками, то в поверхность пола на входе калиток можно вмонтировать гравитационные трапы, верхняя горизонтальная поверхность которых должна быть на уровне пола. Длина трапа не должна быть меньше 1 м, с тем чтобы человек при нормальном шаге хотя бы одной ногой обязательно наступил на трап. Это вызывает блокировку движений ПР и элементов РТК. После монтажа датчиков информационных систем всех видов осуществляется подключение их к информационным магистралям в соответствии с проектом, и передача в комплексе с другим оборудованием в наладку.

Планировка участков и линий ПР, РТК должна обеспечивать свободный, удобный и безопасный доступ обслуживающего персонала к ПР, основному и вспомогательному технологическому оборудованию, к органам управления и аварийного отключения всех видов оборудования и механизмов, входящих в их состав. Например, требованиям обеспечения свободного доступа к оборудованию и его осмотра в большей степени соответствуют подвесные передвижные ПР, рабочие зоны которых не совмещены с рабочими зонами операторов. Планировка зоны РТК должна проводиться в зависимости от типа используемого технологического оборудования, его компоновки, формы, размеров и расположения рабочих зон, уровня автоматизации оборудования, надежности его работы и степени информационного обеспечения, а также от компоновки и структурно-кинематической схемы ПР с учетом действующих норм технологического проектирования соответствующего производства. При манипулировании и перемещении заготовок, готовых изделий и т. п. над проходами, проездами и рабочими местами под зоной движения исполнительных устройств ПР устанавливают за-

щитные сетки и другие устройства, исключающие травмирование персонала при случайном падении предметов манипулирования. Пульт управления РТК по ГОСТ 22269–76, как правило, размещается за пределами зоны ограждения с обеспечением оператору возможности хорошего обзора за работой ПР, технологического оборудования, входящего в состав комплекса, и окружающего его пространства. Освещенность пультов управления РТК должна составлять по ГОСТ 12.2.072–82* не менее 400 лк. Освещенность в рабочей зоне устанавливается СНиП II-4–79 и отраслевыми нормами соответствующих производств. Так, роботизированные комплексы для обработки отливок (ТУ 2-043-862–88) имеют освещенность площадок обслуживания 400 лк, а отраслевые нормы (ОСТ 5.9854–80) устанавливают общую освещенность рабочих мест на поточно-механизированных сварочных линиях 300 лк при использовании газоразрядных ламп и 200 лк – при лампах накаливания. Шумовые и вибрационные характеристики РТК должны соответствовать ГОСТ 12.1.003–83. При размещении постов управления РТК, участками или линиями в закрытых кабинах минимальные внутренние размеры кабины по ГОСТ 12.2.072–82* должны составлять: высота – 2100 мм, ширина – 1700 мм, длина – 2000 мм, ширина дверного проема – 600 мм. Температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и содержание вредных веществ в воздухе кабины или помещения, откуда ведется управление комплексом, устанавливают по ГОСТ 12.1.005–76. Количество подаваемого в кабину воздуха определяют по СН 245–71. Интенсивность лучистого потока, поступающего через смотровые окна кабины, не должна превышать 1200 кДж/(м2ч), а уровень звука – до 80 дБА. Зоны размещения органов управления на пультах и средства отображения информации выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 23000–78, ГОСТ 22269–76, ОСТ 12.2.033–78, ГОСТ 12.4.040–78*. Оснащение РТК, участков, линий унифицированными комплектами средств для диагностирования состояния оборудования в процессе эксплуатации и оценки состояния внешней среды с выводом оперативной информации на дисплеи пультов управления позволяет значительно повысить уровень безопасности производственных процессов, обслуживающего персонала и безаварийной работы оборудования в составе РТК.

В общем случае монтаж РТК производят в следующей последовательности:

1. В соответствии со строительным заданием изготавливают фундаменты под ПР, технологическое и околороботное оборудование, каналы для кабельных и трубопроводных магистралей.

2. Производят установку ПР на фундаменте, методы его выверки и крепления описаны выше. Затем устанавливают шкаф управления ПР, соединяют ПР со шкафом информационными и силовыми кабелями, прокладываемыми без крепления в каналах, и подают на шкаф управления временное питание.

3. При включенном питании проверяют отработку движений ПР по степеням подвижности при управлении с выносного пульта управления, а также уточняют направление оси синхронизации ПР и границы его рабочей зоны, особенно по углу поворота основания.

4. Производят установку технологического оборудования.

5. Далее устанавливают магазины выдачи заготовок.

6. Устанавливают шкаф пневмооборудования, производят прокладку трубных проводок к прессам, магазинам и соединение трубных проводок с элементами пневмооборудования согласно проекту.

7. Монтируют шкаф электрооборудования, датчики положений механизмов, осуществляют прокладку силовых и информационных кабелей и подключение их к элементам электрооборудования.

8. Монтируют элементы информационной системы обеспечения техники безопасности (выключатель открывания входа в ограждение, световой барьер) и вводят блокировки в системы управления ПР и околороботного оборудования.

9. Производят закрепление трубных проводок, силовых и информационных кабелей в каналах и закрывание их крышками.

10. РТК по акту сдают в наладку.

Вопросы для самопроверки

1. Каким образом производится закрепление на площадке монтажных осей и отметок?

2. Назовите способы установки и крепления в фундаменте фундаментных болтов.

3. Порядок монтажа ПР, поставляемых в разобранном виде.

4. Как производится выверка ПР и оборудования?

5. Назовите способы установки пневмо- и гидроцилиндров.

6. Из каких соображений определяются внутренний диаметр пневмогидропроводок и допустимый радиус внутренней кривой изгиба труб?

7. Назовите основные способы монтажа шкафов устройств управления ПР?

8. Основные способы монтажа соединительных проводов на панелях.

9. Как выполняется электропроводка при монтаже электрооборудования непосредственно на исполнительном устройстве ПР?

10. Правила заземления электрооборудования ПР.

11. Назовите основные варианты конструктивных схем связи датчиков информационных систем с звеном манипулятора.

12. На базе каких датчиков и устройств может быть выполнено ограждение рабочей зоны ПР?

13. Назовите рекомендуемую последовательность монтажа элементов РТК.

Глава 3. НАЛАДКА И НАСТРОЙКА РОБОТОВ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Различают три вида наладки технологического оборудования: первичную – перед проведением приемочных испытаний и сдачей на заводе-изготовителе; контрольную – перед сдачей в эксплуатацию после монтажа на предприятии-потребителе; вторичную – после планового ремонта или восстановления работоспособности при поломках и отказах. Наладка производственных систем на заводах-изготовителях проводится в соответствии с технической документацией и техническими условиями.

Контрольная наладка, которая выполняется, как правило, силами специалистов завода-изготовителя либо специализированной пусконаладочной организации, предназначена для проверки и обеспечения (при необходимости) характеристик оборудования, указанных в документации изготовителем. Контрольная наладка предусматривает проверку и обеспечение характеристик оборудования и организацию вза-

имодействия всех составных частей РТК в соответствии с требованиями технологического процесса. При этом каждая единица оборудования должны быть проверены при максимальных нагрузке и скоростных режимах. При вторичной наладке производят настройку всех систем с целью восстановления их первоначальных (паспортных) характеристик. Она производится силами предприятия-потребителя.

3.1. Наладка механических устройств ПР и мехатронных систем

Наладка механических устройств проводится с целью достижения основных механических и кинематических характеристик ПР и мехатронных систем. К таким характеристикам относятся: максимальные или требуемое перемещения звеньев, их скорости, время перемещения захватного устройства из одной точки в другую, точность позиционирования рабочего инструмента при максимальной скорости.

Наладку механических устройств ПР и мехатронных систем следует начинать с изучения кинематической схемы. Это дает возможность разбить всю систему на узлы и механизмы и определить порядок их взаимодействия.

ПР состоят из соединенных в той или иной последовательности опорных систем, оснований, механизмов поворота, подъема, выдвижения руки, захватного устройства и т. п. В зависимости от грузоподъемности ПР, типа привода и системы координат, в которых они работают, механизмы ПР имеют различную конструкцию. Однако это не мешает выработке ряда общих правил и приемов, используемых при наладке.

Для проведения наладочных работ необходимо пользоваться общими видами ПР и его узлов, схемами размещения узлов и оборудования, техническим описанием и инструкцией по эксплуатации, картой смазки. Вся документация перед наладкой должна быть тщательно изучена.

Внешним осмотром должны быть проверены правильность выполнения монтажных работ, качество сборки узлов и элементов робота. Все крепежные болты должны быть затянуты, соединения должны быть надежными. Учитывая, что механическая система ПР представляет собой разомкнутую кинематическую цепь, наладку целесообразно выполнять последовательно каждого отдельного механизма (например, основания, механизма поворота, механизма подъема и т.

д.), используя уже налаженные механизмы для наладки последующих. В процессе наладки каждого механизма необходимо многократно повторять его движения, наблюдая при этом за его работой. В случае обнаружения отказов наладчик должен выяснить причину отказа, устранить ее и вновь испытать механизм в работе. В ПР с цикловым управлением и пневматическими приводами звеньев выход объекта манипулирования в заданную точку осуществляется по регулируемым жестким упорам. Плавная остановка по упорам выполняется демпферами, а выход в заданные точки контролируется микровыключателями. Основной объем работ по настройке механических систем таких ПР заключается в регулировке плавности хода механизмов и выставлении упоров, ограничивающих движение звеньев. Регулировка скорости перемещения штоков пневмоцилиндров производится при помощи дросселей с обратными клапанами. В ПР с контурным управлением и электромеханическим приводом используется следящий принцип управления с обратной связью по положению звеньев манипулятора и наладку приводов производят путем настройки параметров регуляторов на заданные технические характеристики. Наладку и программирование робота следует начинать при остановленном обслуживаемом оборудовании и при отключённом электропитании робота. Вначале необходимо задать требуемые перемещения робота (крайние точки по каждой координате). При этом проверяют отсутствие заеданий, особенно в конце хода.

Наладка подшипниковых узлов

В процессе наладки механической части ПР и мехатронных систем важно проверить отсутствие люфтов и создание натяга заданной величины в подшипниковых узлах. Подшипники используются в конструкциях фиксирующих либо плавающих опор. Для плавающих опор применяют посадку подшипника с зазором, обеспечивающим подвижность внешнего кольца подшипника в осевом направлении (схемы Рис.3.1а, б). Обычно плавающей делают опору, которая несёт меньшую часть радиальной нагрузки. При создании фиксирующей опоры длинного вала часто используют два подшипника для увеличения жёсткости (схема б). Температурное перемещение обеспечивается посадкой радиального шарикоподшипника с зазором (внешнее кольцо подвижно) либо применением радиального роликоподшипника с цилиндрическими роликами.

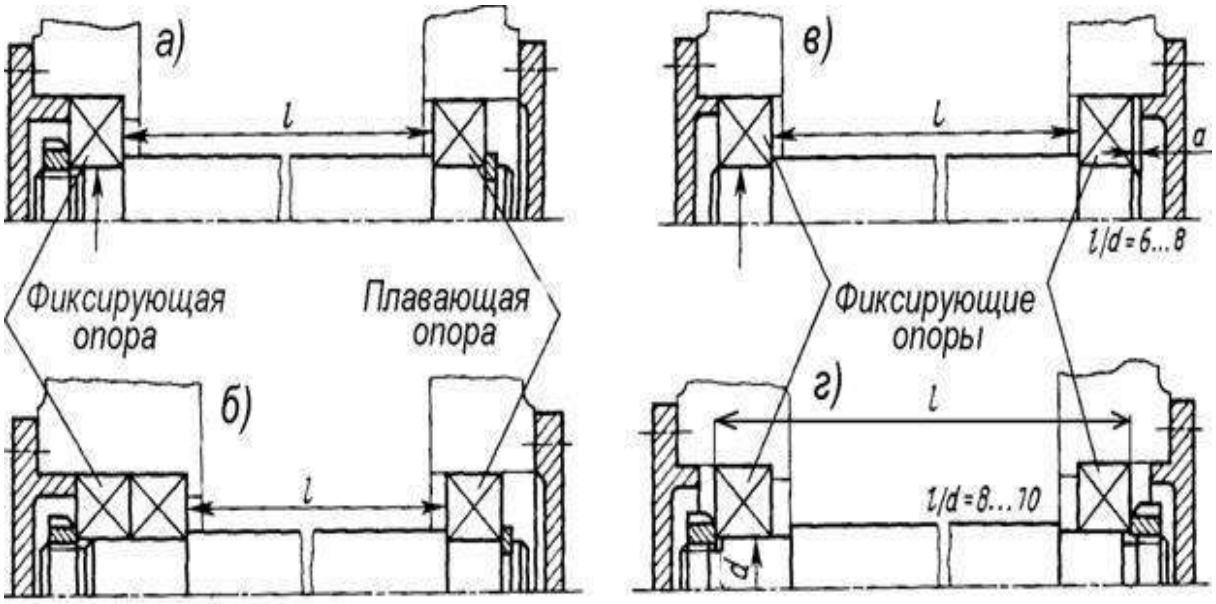


Рис. 3.1. Схемы установки подшипников

Наружные и внутренние кольца фиксирующих опор неподвижны (схема в, г) в осевом направлении и препятствуют смещению вала в ту или в другую сторону. Применение фиксирующих опор допустимо при установке коротких валов враспор в условиях незначительного нагрева. Вал с фиксирующими опорами удобен при монтаже, но требует контроля линейных допусков и учёта теплового расширения, чтобы предотвратить заклинивание тел качения. Для радиально-упорных подшипников установка враспор должна включать возможность осевой регулировки. Величина внутреннего зазора определяет взаимное расположение пары однорядных радиально-упорных шарикоподшипников. Внутренний зазор выставляют после их монтажа, причём осевую фиксацию обеспечивает второй подшипник. Для повышения точности и жёсткости подшипниковых узлов, устранения люфтов и улучшения виброакустических параметров, рекомендуют установку подшипников с предварительным натягом. Преднатяг, т.е. заданная осевая нагрузка, компенсирует зазоры подшипника, создаёт упругую деформацию между максимально возможным количеством тел качения подшипника и его кольцами, предотвращает их проскальзывание. Типичные примеры применения преднатяга - это небольшие быстроходные электродвигатели, шпиндели станков и т.п.

В случае возникновения проблем с подшипником или его установкой, или с тем и другим, температура подшипника не выравнивается, а

возрастает до аномального уровня. Температура насыщения подшипника варьируется в зависимости от теплоемкости, теплоотдачи, количества вращений и нагрузки самого станка. Как правило температура варьируется от 20°С до 30°С. Возможные причины постоянного роста температуры до аномальных пределов следующие: чрезмерная подача консистентной смазки или масла; непредусмотренная нагрузка на подшипник; чрезмерное трение уплотнений подшипника; неправильный контакт подшипника ввиду несоответствия вала, корпуса или заплечиков; недостаточный зазор подшипника; завышенная скорость по отношению к типу подшипника и способу смазки; неправильный контакт подшипника; дефекты подшипника и др. Более того, это могут быть случаи неправильной установки, неточного изготовления или неверного выбора подшипника. Звук подшипника можно проверить с помощью локатора шума или другого соответствующего устройства, приложив его к корпусу. Ненормальные звуки, такие как громкие звуки металла, странные необычные шумы, могут быть вызваны недостаточной смазкой, неподходящим выбором вала или корпуса, попаданием чужеродных частиц или соринок в подшипник, или наличием дефекта подшипника. Даже небольшое отслаивание подшипника создаст аномальный или неровный шум, который опытный работник с помощью локатора легко отличит от нормального шума. Несмотря на то, что температуру можно грубо определить, просто прикоснувшись к поверхности корпуса, все же рекомендуется вставить термометр в отверстие для смазки или в подобное отверстие для непосредственного измерения температуры. Подшипники для движущихся устройств, у которых невозможно проводить мониторинг шума или температуры во время функционирования, например, роликовые подшипники для транспортных средств, необходимо периодически проверять и смазывать свежей смазкой. Проверка состояния смазки во время работы также является полезным способом определения технического состояния подшипника. Техническое состояние может быть определено по количеству грязи и мелкого железного порошка, содержащегося в смазке, а также по любому признаку утечки или ухудшения качества смазки. Каждый раз при выявлении неисправностей или поломок подшипника в результате таких проверок подшипник необходимо разобрать для дальнейшего тщательного обследования и определения причин возникновения неполадок.

Регулировка зазора-натяга по нагреву опор

Температуру подшипников измеряют с помощью термопар, устанавливаемых в отверстиях корпуса шпиндельной бабки так, что они непосредственно касаются наружных колец подшипников, либо с помощью термометров, устанавливаемых в отверстиях в корпусе бабки (отверстия заполняют маслом). Нагрев опор не должен превышать известных границ, но и не должен быть ниже известного уровня. Если указанное условие не выполнено - проводится регулировка подшипников. Такой метод регулировки возможен лишь при том условии, что показатели точности подшипников и сопряженных сними деталей имеют малое рассеяние.

Регулировка зазора-натяга по моменту трения

По результатам исследования прототипа станка устанавливают допуск на величину момента трения покоя или движения (при медленном) вращении. Изменяют момент трения с помощью рычага с грузом, гибкой тяги с пружинным динамометром или с помощью рычага и манометра. Достоинство описанного метода - измерение очень простое и кратковременно. Однако еще в большей мере, чем при испытаниях на нагрев, стабильность регулировки подшипников зависит от постоянства точностных параметров подшипников.

Наладка устройств выборки люфта в механических передачах

Различают два способа выборки бокового зазора в винтовых механизмах – радиальное и осевое смещение гайки относительно винта. При радиальном способе осуществляют сжатие гайки в радиальном направлении, а при осевом способе – смещение гайки относительно винта в осевом направлении. Устройства, обеспечивающие выборку радиальной составляющей бокового зазора, представляют собой разрезные гайки. Конструкция люфтовыбирающего механизма с разрезной гайкой показана на рис. 3.2. Две половинки гайки 1 стягиваются винтами 3 и обжимают винт 2. При этом создается неравномерное обжатие винта, что вызывает неравномерный износ резьбы гайки. Выборку осевой составляющей бокового зазора осуществляют путем относительного осевого смещения части составной гайки. На рис. 3.2, а показана конструктивная схема

люфтовыбирающего механизма на основе гайки с жесткой регулировкой осевого зазора, в котором выборку осевой составляющей бокового зазора осуществляют поворотом гайки 1.

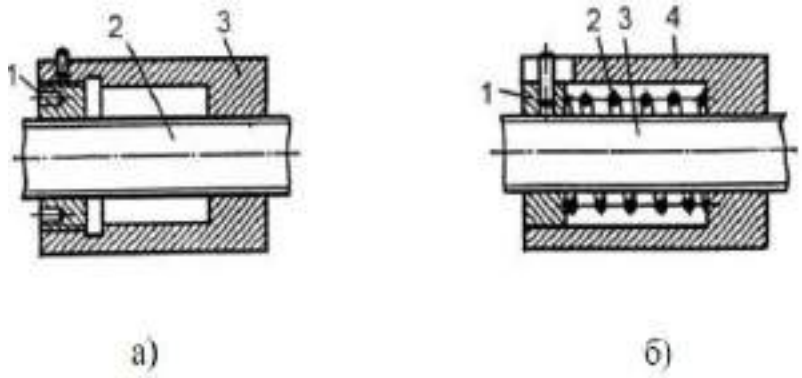


Рис. 3.2. Конструкция люфтовыбирающего механизма с разрезной гайкой

При этом обеспечивается одновременный контакт правых профилей резьбы винта 2 и левых профилей гайки 1, а также левых профилей резьбы винта 2 и правых профилей резьбы гайки 3 при сжатии витков винта. Люфтовыбирающий механизм на основе гайки с эластичной регулировкой осевого зазора показан на рис. 3.2, б. Выборку осевой составляющей бокового зазора осуществляет пружина 2, отжимая гайку 1 от гайки 4, обеспечивая двухпрофильный контакт резьбы винта 3 с резьбами гаек 1 и 4. Расчет пружины проведен в разделе 9.2. Механизмы выборки мертвого хода на основе гаек с жесткой и эластичной регулировкой осевой составляющей бокового зазора обеспечивают высокую точность относительного перемещения винта и гайки при их движении как в прямом, так и в обратном направлениях. В мехатронных модулях используют механизмы выборки бокового зазора между зубьями колес зубчатых передач двух типов: автономные и с дополнительной кинематической цепью (замкнутым энергетическим потоком). В автономных механизмах выборки мертвого хода используют метод раздвоения ведомого колеса, где в качестве силовых элементов используют пружины.

На рис. 3.3 приведена конструктивная схема такого механизма. Основная половина 1 раздвоенного зубчатого колеса закреплена на валу, а вторая половина 2 образует с втулкой основной

половины 1 колеса подвижное соединение и ее фиксируют от осевого смещения шайбой 3. Под влиянием пружины 4, закрепленной одним концом на половине 1 колеса, другим – на половине 2, половинки колес поворачиваются относительно друг друга в разные стороны и выбирают боковой зазор между зубьями ведущего и ведомого колес.

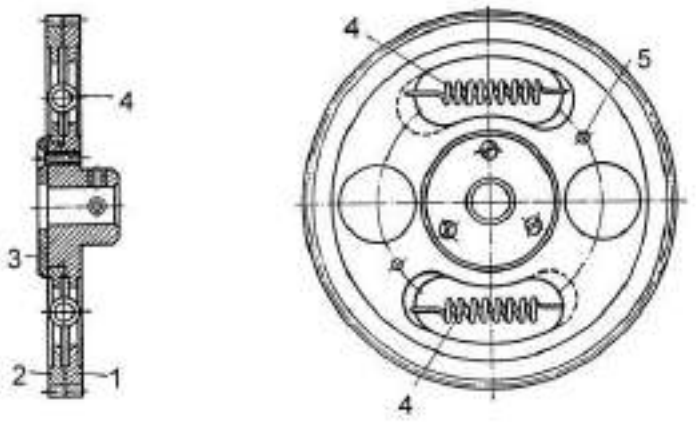


Рис. 3.3. Конструктивная схема выборки зазора

Пружину 4 устанавливают во время сборки механизма с предварительным натяжением, достаточным для выборки мертвого хода в данной зубчатой паре и передаче крутящего момента другого знака, т.е. при реверсе. При наличии мертвого хода необходимо установить пружину большей жесткости.

Кроме выборки зазора при помощи пружин используют жесткую фиксацию, заключающуюся в предварительном относительном смещении половинок раздвоенного зубчатого колеса и их жестком закреплении при помощи винтов, болтов, клеммовых соединений и т.д. Основными недостатками выборки мертвого хода методом раздвоения колеса являются: наличие большого числа дополнительных элементов (пружин, зубчатых колес, винтов и т.д.), увеличенные потери в зацеплении, обусловленные тем, что трение возникает не только на рабочей стороне зуба, но и на нерабочей. Это приводит к ускоренному износу зубьев. Указанные недостатки частично могут быть устранены в механизмах выборки

мертвого хода с дополнительной кинематической цепью (безлюфтовые механизмы с замкнутым энергетическим потоком). Они позволяют осуществить полный выбор люфтов во всех составляющих звеньях путем принудительного разворота в противоположные стороны двух соосно расположенных элементов одной из передач. На рис.3.4 приведена схема безлюфтового планетарного механизма.

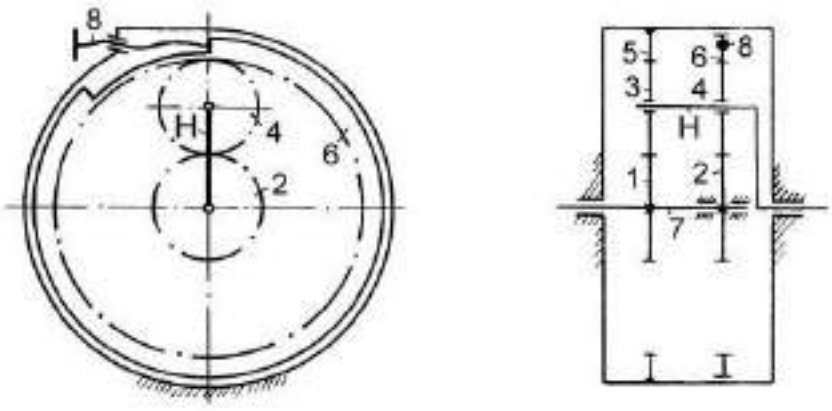


Рис. 3.4. Схема безлюфтового планетарного механизма

Обычно для образования замкнутого контура к исходной кинематической цепи добавляют точно такую же параллельно расположенную кинематическую цепь, однако это необязательно. Иногда замыкающая кинематическая цепь может представлять собой цепь иного рода, чем исходная. Исходная кинематическая цепь состоит из центрального колеса 1, сателлита 3, закрепленного на водиле *H* и неподвижного центрального колеса 5. Для выборки люфтов устанавливают дополнительную кинематическую цепь, состоящую из центрального колеса 2, соединенного с центральным колесом 1 при помощи упругого элемента (торсиона, пружины) 7, сателлита 4, подвижного центрального колеса 6 с внутренним зацеплением и винта 8.

При завинчивании винта 8 подвижное центральное колесо 6 поворачивается и выбирает зазор в паре зубчатых колес 6-4. Затем начинается поворот сателлита 4 и выбирается зазор в паре 4-2. Далее через торсион 7 поворот передается центральному колесу 1 и

выбирается зазор в паре 1-3 и далее поворот сателлита 3 приводит к выборке зазора в паре 3-5. После выборки всех зазоров во всей кинематической цепи происходит дополнительная закрутка торсиона 7, что обеспечивает постоянный натяг в цепи и исключает появление люфта при износе элементов отдельных передач.

3.2. Наладка пневмогидрооборудования ПР

Наладку пневмогидрооборудования ПР начинают с внешнего осмотра. При внешнем осмотре проверяют правильность сборки пневмо- или гидросистемы ПР по соответствующим схемам, обращая особое внимание на соответствие смонтированной аппаратуры, правильность ее установки и присоединения к трубопроводам. Затем трубные проводки пневмо- и гидросистем продувают сжатым воздухом или инертным газом. Данную операцию выполняют для удаления из трубопроводов твердых частиц и пыли, которые неизбежно попадают в них при проведении монтажных работ. Продувку ведут со стороны исполнительных механизмов в сторону блока подготовки воздуха или гидростанции. Сжатый воздух, используемый для продувки, должен быть осушен и очищен от масла и пыли. При продувке воздухом рекомендуется все сварные швы простукивать молотком. После продувки трубопроводов производят их соединение с аппаратами и проверяют герметичность и прочность пневмогидросистем. Для этого в систему подается пробное давление сжатого воздуха, которое для пневмосистем должно составлять 1,5, а для гидросистем 1,25 номинального давления. Поднимать давление в системах следует постепенно, делая выдержки при величинах 0,3; 0,6 и 1,0 пробного давления. Во время выдержек проверяют все сварные стыки, фланцевые и резьбовые соединения путем обмазки мест соединений мыльной водой и наблюдения за по-' явлением пузырей. Обнаруженные места утечек воздуха отмечают и после снятия давления производят подтяжку соединений. Для полного устранения всех утечек подобные операции повторяют 2–3 раза. При проверке пневмогидросистем на прочность их выдерживают при пробном давлении в течение 5 мин, затем плавно снижают давление и производят осмотр. Элементы пневмогидросистем не должны иметь вспучиваний, трещин, течей, запотеваний. Если в соответствии с ТУ на ПР или РТК проверку смонтированных пневмо- и гидросистем необхо-

димо проводить с отключением исполнительных механизмов, клапанов, то трубные проводки закольцовывают с помощью переходников. Следует помнить, что при первоначальном пуске ПР возможны любые случайные движения его исполнительных органов. Поэтому необходимо принять меры для исключения возможных аварийных ситуаций путем установки соответствующих упоров, тщательного наблюдения за движением рабочих органов в момент запуска. Наладку пневмогидрооборудования следует проводить в соответствии с рекомендациями, указанными в инструкциях к ПР. Рекомендуется дополнительно к инструктивному материалу прилагать паспорт типовых неполадок и способов их устранения, а все данные, полученные при наладке, заносить в паспорт наладки. Схему пневматической или гидравлической системы ПР рекомендует ся расчленять на структурные развертки в виде комплекта магистральных контуров типовой структуры, составленной по элементам рабочего цикла. Каждый магистральный контур обеспечивает выполнение только определенных функций, поэтому наладка, выполняемая по данной системе, становится более определенной, а все неполадки исключаются посредством последовательной проверки работы аппаратуры каждого магистрального контура. Магистральные контуры определяются схемами движения сжатого воздуха или рабочей жидкости.

Выделение магистральных контуров и схем движения потоков рабочего тела производят в следующей последовательности:

1) рабочий цикл ПР разбивают на такты, соответствующие движениям рабочего органа между точками позиционирования как основными, так и промежуточными '(например, исходное положение – опускание руки для захвата детали – подъем руки с деталью – поворот руки – выдвижение руки – опускание руки и освобождение детали – подъем руки – выдвижение руки – обратный поворот – исходное положение);

2) для каждого такта определяют перечень участвующих в работе клапанов, распределителей, дросселей, гидродвигателей и т. п.;

3) по принципиальной и монтажной схемам определяют каналы, соединяющие участвующие в работе аппараты;

4) выявляют магистрали подвода и отвода рабочего тела;

5) полученную развертку располагают между напорной и сливной (сбрасывающей) магистралями.

Перед пуском ПР с пневматическим приводом необходимо залить масло в маслораспределитель блока подготовки воздуха и проверить

затяжку винта сброса конденсата на фильтре-влагоотделителе. С целью предотвращения превышения давления в пневмосистеме ПР в первоначальный момент работы необходимо повернуть регулировочный винт редукционного пневмоклапана против часовой стрелки до упора. Затем необходимо открыть запорный вентиль подвода сжатого воздуха от внешней магистрали и с помощью редукционного пневмоклапана установить требуемое давление сжатого воздуха. Дальнейший пуск ПР осуществляется с пульта оператора устройства управления.

Перед пуском ПР с гидравлическим приводом в гидробак необходимо залить чистое масло, заполнить маслом трубопроводы и удалить из системы воздух. При этом пружины напорных гидроклапанов насосов должны быть полностью ослаблены. Краны или пробки для выпуска воздуха, установленные в наивысших точках гидросистем, открывают, накидные гайки на концах магистральных труб ослабляют. После того, как при включенных электромоторах из кранов и из-под гаек пойдет чистое масло, электродвигатели насосов отключают, краны закрывают, а напорные гидроклапаны насосов настраивают на рабочие давления, указанные в инструкциях. Необходимо также выпустить воздух из гидроцилиндров, для чего приоткрывают золотники в крышках гидроцилиндров, а поршни гидроцилиндров перемещают несколько раз на быстрых ходах из одного крайнего положения в другое. После полного удаления воздуха из гидросистемы необходимо долить масло в гидробак до верхнего уровня маслоуказателя.

Наладка отдельных элементов и аппаратуры пневмо-гидросистем производится следующим образом:

1. В пневматической системе настройка давления на выходе регулятора осуществляется при помощи регулировочного винта. При вращении винта по часовой стрелке давление на выходе регулятора повышается, а при вращении его против часовой стрелки понижается. При понижении давления рекомендуется вначале понизить его до величины, несколько меньшей требуемой, а затем плавно поднять до нужного значения.

2. Настройка реле давления производится в следующем порядке. К реле давления подводится сжатый воздух. Если при этом толкатель не подвинется в крайнее положение, то винт настройки пружины реле вывинчивается из корпуса до полного выдвижения толкателя.

Вывинчиванием установочного винта микропереключателя приближают его штифт к толкателю реле до момента переключения контактов. Этот момент контролируется либо электролампой, подключенной последовательно к электросети через нормально открытый контакт микропереключателя, либо на слух. После этого винт установки вывинчивается на 1/4 оборота и контрится. Снятие давления должно вызвать переключение контактов микропереключателя в обратном направлении.

3. Распределительные устройства проверяются путем поочередного ручного (путем воздействия на якорь) переключения электромагнитов. При переключении распределителей воздух должен подаваться в соответствующие полости пневмоцилиндров, обеспечивая движение звеньев манипулятора в соответствии с пневмосхемой. Затем при подключенной системе управления электромагниты включаются кнопками управления наладочного пульта. Звенья манипулятора должны двигаться в направлениях, указанных стрелками на фальшпанели пульта.

4. Настройку скорости перемещения поршня пневмо-цилиндра производят дросселированием выпуска воздуха из полостей цилиндра. При этом удается получить не только необходимую скорость движения, но и смягчить удары поршня о крышки цилиндра и обеспечить плавную работу ведомых механизмов. При этой настройке раздельно регулируют прямой и обратный ходы привода с помощью дросселей в сочетании с обратными клапанами, установленными на воздухопроводах каждой полости цилиндра. Такие устройства позволяют регулировать скорость на всем участке хода поршня. При наличии в цилиндре буферных устройств достигают замедления скорости поршня перед приходом его в крайние положения путем регулировки дросселирующих игл в буферном устройстве, что обеспечивает плавный останов механизма. Скорость поршня пневматического цилиндра изменяется при колебаниях внешней нагрузки, поэтому правильность произведенной регулировки проверяют при наибольшей и наименьшей нагрузке. По окончании регулировки величин давления, скоростей перемещения и длины ходов регулировочные винты должны быть законтрены.

5. Наладка гидрораспределители начинается с проверки правильности присоединения гидрокоммуникаций путем поочередного ручного включения электромагнитов. Затем следует путем включения электромагнитов с пульта управления проверить надежность перемещения (отсутствие зада-

ния) золотника управления и основного золотника направляющего распределителя, а также убедиться в отсутствии гидравлического удара (вызывающего шум и вибрации трубопровода) в момент переключения. Отсутствие заедания золотников проверяется при максимальном и минимальном (0,3–0,4 МПа) давлениях. При этом имеющиеся в распределительных гидропанелях дроссели должны быть полностью открыты, а клапаны затянуты до отказа. Если возникает гидравлический удар, то он должен быть ликвидирован путем регулирования дросселей, установленных в крышках распределителя.

Надежность переключения золотников распределителей определяется путем многократного включения электромагнитов. При этом электромагниты необходимо держать включенными не менее 5 мин. Не допускается гудение электромагнитов при их включении. Золотники управления распределителей должны иметь запас хода (после полного их перемещения) не менее 0,2–0,5 мм. Золотники управления с пружинами должны при обесточивании электромагнита четко и без задержки перемещаться своими пружинами в исходное положение после 2–5-минутной выдержки их под максимальным давлением. Золотники управления с фиксаторами должны быть проверены на надежность фиксации в каждом положении при отключенных электромагнитах и наименьшем давлении 0,3 МПа. При этом золотник управления должен перемещаться при силе не свыше 7 Н.

6. Наладка дросселей и регуляторов потока заключается в установлении с помощью лимба или стакана (для дросселей, встраиваемых непосредственно в трубопровод) подачи масла через дроссель, соответствующей заданной скорости перемещения звена ПР. Определение скорости перемещения звена производится с помощью электронного реле времени, управляемого от датчиков конечных положений с последующим пересчетом ее величины через пройденное звеном расстояние и время. При отсутствии электронного реле времени определение скорости звеньев можно производить с помощью секундомера. Для этого ПР программируется для выполнения одного повторяющегося движения. В момент пуска ПР включается секундомер и определяется время выполнения звеном ПР пяти или десяти двойных ходов. Скорость определяется по среднему времени выполнения одного хода и длине хода. Наладка путевых гидравлических дросселей заключается в подборе такого положения тормозного упора, при котором происходит плавное

торможение перемещающегося звена ПР. Если при любом положении тормозного упора не удается достичь плавного торможения, то следует установить упор с меньшим углом наклона рабочей грани, воздействующей на ролик путевого дросселя. При опробовании и наладке пневмоприводов часто случается, что поршень пневмопривода не в состоянии вести за собой ведомый механизм. Недостаточное усилие на штоке пневмопривода может быть вызвано различными причинами: чаще чрезмерным трением и заеданием вследствие неправильной сборки и монтажа, а иногда и недостаточной приработкой и обкаткой узлов ПР. В этом случае ведомые звенья ПР отсоединяют от привода, проверяют исправность работы каждого звена и устраняют выявленные дефекты. В случае надобности производят приработку и обкатку путем многократного повторения рабочих циклов механизма. Кроме того, может быть недостаточное давление в сети сжатого воздуха вследствие несоответствия производительности компрессора расходу сжатого воздуха потребителями и чрезмерных утечек. Понижение давления сжатого воздуха в сети имеет место также вследствие недостаточного сечения воздухопроводов, особенно при значительной длине их и неравномерном расходе воздуха потребителями. В этих случаях необходимо установить, какая из перечисленных причин имеет место.

3.3. Наладка электрооборудования и устройств управления

Работа электрооборудования в значительной степени зависит от четкости действия, входящих в его состав электрических устройств, которые должны быть исправными и соответствовать проектной документации. При наладке электрооборудования и устройств управления проводится следующий комплекс работ: проверка качества электромонтажных работ и соответствие их рабочим чертежам проекта; проверка установленной аппаратуры, ее настройка и регулировка; проверка состояния изоляции и заземляющих устройств; испытание электрооборудования и устройств управления в комплексе с другими системами в различных режимах работы, в том числе и под нагрузкой.

Учитывая, что для различных типов роботов и мехатронных устройств состав электрооборудования и сложность устройств управления также различны, невозможно выработать строго определенные

действия наладчика. Однако во всех случаях целесообразно использовать некоторые общие методы сокращения времени наладки и выявления неисправностей. Одним из наиболее простых и надежных методов является метод наблюдения. Он состоит в наблюдении за действием элементов схемы и оценке правильности их действия. Метод исключения или локализации проверяемого участка заключается в искусственном сокращении объема участка, содержащего необнаруженный неисправный элемент путем последовательного отключения до тех пор, пока не обнаружится неисправность. Под связями в данном случае понимают все виды связей, в том числе и механические. Например, проверка двигателя на холостом ходу позволяет установить, что именно неисправно – двигатель или механизм. Метод сравнения заключается в замене проверяемого элемента или узла схемы соответственно исправным элементом или узлом (панелью, блоком). Если после замены элемента или узла неисправность исчезнет, наладчик продолжает работу, оставляя неисправный элемент или узел в мастерской.

Метод обратной последовательности применяют при проверке схемы, состоящей из нескольких звеньев, связанных функциональной зависимостью. Он заключается в том, что проверку производят на выходе каждого звена последовательно, от последнего к первому. Если при этом какое-то промежуточное звено имеет нормальный выход, т. с. выполняет требуемую функцию, то сразу же после этого можно проверить выход предыдущего звена. Такой метод исключает лишние контрольные операции, и, следовательно, сокращает время наладки. Этот метод дает наибольший эффект в условиях серийного производства и эксплуатации.

При наладке электрооборудования возникает необходимость в определенном количестве электроизмерительных приборов, инструмента и приспособлений, номенклатуру и число которых определяют в зависимости от сложности схем, а также от типов применяемой электроаппаратуры и электронных приборов. Применяют как специальные, так и универсальные измерительные приборы. Универсальные многошкальные приборы обычно используют при наладке схем, содержащих одновременно элементы переменного и постоянного тока. Во избежание неправильных включений, приводящих к выходу из строя приборов, особенно электронных, проверка работоспособности электрических схем и их наладка должны осуществляться наладчиками,

имеющими определенные навыки и квалификацию. Оснащение участка наладки приборами, инструментом и соответствующими приспособлениями должно быть таким, чтобы способствовать обеспечению быстрого отыскания возможных неисправностей в схемах. Как показал опыт, большинство наладочных работ не требует высокой точности измерения, поэтому наибольшее применение находят более дешевые приборы классов 1,5 и 2,5, а также индикаторы напряжения. При наладке достаточно сложных устройств управления ПР следует пользоваться осциллографами, генераторами гармонических и периодических сигналов, частотомерами, логическими пробниками, пульсаторами и многоканальными логическими анализаторами.

Выдержку времени отключения электромагнитных реле постоянного тока в небольших пределах (до 0,5 с) регулируют: изменением толщины немагнитной прокладки (грубо); изменением натяжения пружины (более точно). Выдержку времени полупроводниковых и электронных реле, как правило, устанавливают на заданное значение по шкале реле путем поворота указательной рукоятки. Учитывая, что реле времени имеют определенную погрешность времени срабатывания, окончательно выдержку времени реле корректируют при испытаниях.

При наладке тепловых реле эксцентрик регулятора установки должен быть установлен в положение, указанное в конструкторской документации на монтаж электрооборудования. При отсутствии такого указания эксцентрик устанавливают в положение, при котором ток установки равен 1 –1,05 от номинального тока защищаемого двигателя. При регулировании величины уставки необходимо учитывать, что поворот эксцентрика вправо (к риске «+») ведет к загрублению защиты, т. е. увеличению минимального тока и времени срабатывания. Реле времени на заданную выдержку настраивают с помощью секундомера. В зависимости от необходимой точности замера величины выдержки времени применяют обычные и электрические секундомеры. Последние применяют для более точной настройки.

Наладка устройств управления ПР

Для управления движениями звеньев ПР используется множество различных систем управления - цикловых, позиционных, контурных, на базе микропроцессорных наборов. Если внимательно рассмотреть их структуру, то можно увидеть, что все они состоят из набора функ-

циональных блоков или модулей, например, управляющевы-числительных, программно-задающих, модулей сопряжения и т. п.

Первичная наладка устройств управления ПР производится на заводе-изготовителе перед проведением приемочных испытаний и сдачей ОТК. Работы по наладке производятся на специальных стендах с использованием контрольно-измерительной и регулирующей аппаратуры. Контрольная наладка устройств управления ПР производится после проведения монтажных работ перед сдачей в эксплуатацию оборудования на заводе-потребителе. Поэтому при наладочных работах основное внимание должно быть уделено проверке правильности распайки соединительных кабелей и подключения всех внешних элементов системы управления (катушек электромагнитов пневмо- и гидрораспределителей; датчиков контроля положения звеньев манипулятора; пусковой аппаратуры технологического оборудования и пр.). Контроль правильности подключения всех внешних элементов достаточно просто осуществляется при проверке отработки команд ПР с пульта ручного управления. При нажатии на кнопки пульта ПР должен отрабатывать движения, обозначенные мнемоническими символами (поворот, выдвижение руки, подъем и т. д.). С пульта управления также можно проверить срабатывание и состояние датчиков положения звеньев манипулятора. Если движение какого-либо звена не соответствует указанной мнемонике, то необходимо произвести переключение соединительных кабелей. Если при контроле отсутствует отработка манипулятором какой-либо команды, то при исправных внешних трассах, электромагнитах распределителей и датчиках, неполадки следует искать непосредственно в стойке управления. При этом необходимо вначале определить неисправный узел или модуль, а затем локализовать неисправность непосредственно на плате, выявив неисправный элемент.

Проверка работоспособности системы управления в комплексе со всеми узлами ПР может осуществляться по тестовой программе. Такая программа должна включать в себя произвольную последовательную отработку всех движений ПР, предусмотренных его степенями подвижности. Для ввода гест-программы необходимо переключатель номера кадра установить в нулевое положение, а манипулятор – в исходное положение. Нажав на пуль" те управления клавишу «Программа», необходимо набрать команду нулевого кадра и нажать кнопку «За-

пись». Далее набирается команда первого кадра программы и заносится в память. Аналогичным образом вводятся остальные команды тест-программы и в конце нажимается клавиша «Конец программы». Для проверки правильности ввода тест-программы система управления переводится в шаговый режим. Нажимая последовательно клавишу «Пуск», проверяется соответствие движений манипулятора программе, записанной в каждом кадре. Затем система управления переводится в цикловый режим и после нажатия клавиши «Пуск» проверяется правильность отработки одного цикла программы. Дальнейшая проверка осуществляется в автоматическом режиме с многократным повторением тест-программы и движений ПР. Наладчик должен внимательно следить за поведением ПР и в случае возникновения сбоев определить причину, устранить ее и произвести повторное включение.

Проверка работоспособности микропроцессорных систем управления. В состав любой микропроцессорной системы или контроллера входят модуль центрального процессора, модули оперативной и постоянной памяти, модули ввода-вывода для взаимодействия с периферийными устройствами, Проверка работоспособности модулей ввода-вывода осуществляется путем подачи на их входы последовательно по всем каналам сигналов «Установка в I» и «Установка в 0». Если модули оснащены светодиодами индикации состояния их выходов, то состояние светодиодов, не соответствующее входным сигналам, свидетельствует о наличии неисправности. Контроль состояния выходов модулей ввода-вывода при отсутствии светодиодной индикации может осуществляться тестером или логическим пробником.

Проверка работоспособности модулей оперативной памяти осуществляется путем записи нескольких команд по различным адресам с последующим просмотром содержимого на индикаторе пульта управления. Искажение информации свидетельствует о наличии неисправности. Проверка работоспособности модуля центрального процессора осуществляется значительно труднее. Дело в том, что правильная работа вычислительной системы требует исправных аппаратных средств и безошибочного программного обеспечения. Программа может работать правильно на конкретных тест-наборах, но отказывает при эксплуатации из-за получения непредвиденного набора кода, который она не может обработать. Такие ситуации возникают вследствие ввода инфор-

мации неопытным оператором, что приводит к кажущемуся отказу системы. Кроме отказов таких видов имеются и отказы, возникающие в системе после некоторого срока эксплуатации. Они вызываются электрическими отказами из-за неисправностей компонентов или, что происходит, гораздо реже, программными отказами, из-за искажения хранимых в памяти кодов команд. Двойственная природа вычислительной системы при возникновении отказа сразу же ставит следующую проблему. Если отказ не очевиден, оператор должен решить, скрыт отказ в аппаратных средствах или вызван ошибкой в программе. На этот вопрос часто ответить не так просто, так как характер отказа может препятствовать выполнению любой программы, а отказ в операционной системе может не допустить загрузку и выполнение любой тест-программы. Если тест-программы не работают, вероятно, имеет место отказ в аппаратных средствах, а вся тест-последовательность проверит главные функциональные блоки системы и покажет, не кроется ли отказ в прикладных программах.

Несмотря на наличие испытанных методов систематического контроля системы в случае отказа наиболее очевидным и часто игнорируемым первым действием еще до подключения какого-либо контрольно-измерительного прибора должен быть тщательный осмотр системы. Отказ может быть очевидным, например, «сгоревшая» микросхема, а состояние, в котором остановилась система, ' само может дать подсказку о месте возникновения отказа в системе. Необходимо проверить все встроенные в систему индикаторы, которые могут помочь в локализации отказа; кроме того, многие модульные системы имеют в подсистемах индикаторы типа «проходит/не проходит», которые идентифицируют неисправную подсистему. Принципы поиска неисправностей в системах с микропроцессорами в основном не отличаются от принципов тестирования обычных цифровых устройств. В соответствии со стандартной процедурой персонал должен Изучить проверяемую систему, определить состав требуемого контрольно-измерительного оборудования и составить логическую процедуру поиска неисправности.

Когда подозревается отказ, часто много информации о системе можно получить, не снимая крышек оборудования. В большинстве систем имеются какие-либо клавиши для ввода и индикаторы, которые

можно использовать для ввода данных и наблюдения реакций на индикаторах. Если, например, все индикаторы погашены, следует подозревать неисправность тумблера включения сети, обрыв в шнуре питания или неисправность в блоке питания. Если же не работает один из сегментов в 7-сегментном индикаторе, отказ, вероятно, возник в самом индикаторе или в схеме формирователя. Наблюдение даже за простейшими индикаторами может стать ключом к определению наиболее вероятного места отказа.

Наладка информационных систем начинается с проверки надежности крепления датчиков, а также правильности их подключения к информационным кабелям. Все подсоединения должны соответствовать принципиальным электрическим схемам соединений, маркировка выводов датчиков и соединительных проводов должна быть идентичной. При необходимости правильность подключения проверяют методам прозвонки.

Наладка конечных выключателей заключается в правильной настройке взаимодействующих с ними упоров (экранов) управления. Перед настройкой необходимо проверить четкость работы конечных выключателей. Проверка работы контактных выключателей осуществляется ручным воздействием на их приводные элементы, которые должны передвигаться без заеданий и повышенного сопротивления. Контроль работы бесконтактных конечных выключателей осуществляется при включенном напряжения питания цепей постоянного тока путем проверки срабатывания соединенных с выключателем реле. Если выходы датчиков подключаются непосредственно на входы логических элементов, то при срабатывании датчика уровень сигнала на его выходе должен соответствовать значению логической 1, либо логического 0.

Настройка упоров управления контактных конечных выключателей может быть выполнена при отключенном напряжении питания. С этой целью механизм устанавливается в требуемое положение, после чего упор, предварительно освобожденный от винтового зажима, плавно -перемещается навстречу приводному элементу выключателя до точки срабатывания последнего. Срабатывание выключателей мгновенного и полумгновенного действия фиксируется по характерному щелчку, сопровождающему срабатывание встроенных в них микровыключателей. Срабатывание выключателей прямого действия фиксируется

электрическим щупом, подсоединенным к замыкающим контактам выключателя. После этого управляющий упор должен быть перемещен за точку срабатывания на 1–2 мм, что обеспечивает надежность действия выключателя. В этом положении упор должен быть закреплен. Необходимо, чтобы при взаимодействии выключателя с упором управления ход приводного элемента выключателя был больше рабочего хода выключателя, но вместе с тем не превышал бы величины полного хода, допустимого для данного выключателя. При выполнении этого требования исключается возможность воздействия на приводной элемент силой, превышающей силу срабатывания выключателя. При отводе упора управления необходимо, чтобы приводной элемент выключателя возвращался в начальное положение, т.е. полностью освобождался от действия упора. В противном случае выключатель может остаться во включенном состоянии.

Настройка бесконтактных выключателей осуществляется путем регулировки величины рабочего зазора между торцевой поверхностью датчика и измерительной пластинкой либо (для датчиков типа БВК) введением пластины в рабочую зону выключателя. Надежность срабатывания проверяется путем многократного (не менее 10 раз) взаимодействия перемещаемого и неподвижного механизмов^ до конечного положения. В случае обнаружения эффекта «дребезга контактов» необходимо уменьшить рабочий зазор. Настройка датчиков определения текущей координаты звеньев манипулятора производится при крайних положениях звеньев. В одном из крайних положений звена подвижный элемент датчика должен быть установлен таким образом, чтобы его выходная величина (сопротивление, напряжение, частота и т. п.) соответствовала минимальному либо максимальному значению. При перемещении звена подвижный элемент должен приводиться во вращение без проскальзывания. Передаточное число кинематической пары должно быть таким, чтобы диапазон перемещения подвижного элемента датчика несколько (на 10%) превышал величину хода подвижного звена манипулятора. После настройки передаточных механизмов и датчиков регулировочные элементы должны быть надежно закреплены с помощью фиксирующих винтов.

Наладка информационных систем восприятия внешней среды – систем технического зрения (СТЗ) представляет собой достаточно

трудную задачу. Это обусловлено тем, что помимо датчиков (видиконов) СТЗ содержит блоки обработки информации, включающие зачастую микро ЭВМ. На работу СТЗ в значительной степени влияет контраст между объектом и фоном, а следовательно, и освещение объектов.

Работы по наладке СТЗ следует проводить строго в соответствии с инструкцией по эксплуатации. В общем случае при наладке необходимо выставить оптическую систему на заданной высоте от поверхности захвата. Особое внимание при этом следует обращать на перпендикулярность оптической оси видикона рабочей плоскости. Далее необходимо выставить угловое положение видикона относительно системы координат ПР (совмещение главных осей). В режиме «настройка» производится тщательная фокусировка изображения и проверке восприятия информации по эталону с заданной конфигурацией. Если не удается сфокусировать изображение, необходимо проверить правильность установки оптических линз видикона. Если СТЗ правильно воспринимает информацию с эталонной детали, то процесс наладки можно.считать законченным.

Для проверки правильности настройки системы светозащиты необходимо последовательно перекрывать световой поток между парами светоизлучатель – приемник. При этом должно происходить отключение приводов и остановка ПР. Затем необходимо проверить снятие блокировки путем нажатия на кнопку «Сброс», находящуюся на стойке. ПР при этом должен продолжить выполнение прерванной программы.

Существенную помощь в наладке системы программного управления робототехнического устройства или комплекса может оказать моделирование с использованием виртуальных моделей рабочей среды и самих роботов. Использование моделирования снижает затраты, и роботов можно программировать в автономном режиме, что исключает время простоя оборудования. Действия роботов и сборочные детали можно визуализировать в трехмерной виртуальной среде за несколько месяцев до того, как будут созданы прототипы. Написать код для моделирования также проще, чем написать код для физического робота. Одним из известных технических решений создания виртуальной

среды является приложение FANUC ROBOGUIDE, которое выполняет симуляцию как движений робота, так и команд для конкретной сферы применения и обеспечивает значительную экономию времени при создании новых настроек движения. Чтобы гарантировать минимальное влияние на производство, модули можно разрабатывать, тестировать и изменять полностью автономно. Чтобы сократить время на трехмерное моделирование, модели деталей можно импортировать из ПК в виде данных САПР. Большая библиотека программного обеспечения для симуляции позволяет пользователям выбирать и изменять детали и размеры. Для работы с интуитивно-понятным и чрезвычайно простым в использовании приложением ROBOGUIDE требуется минимальное обучение. Оно также доступно со специализированными инструментальными средствами для конкретных сфер применения. Моделирование в среде Roboguide предоставляет возможность офлайн-программирования технологических процессов для роботов FANUC и включает 3D-моделирование комплекса, программное обучение манипуляторов и воспроизведение запрограммированных обучением траекторий и программ. Моделирование в пакете Roboguide основано на использовании виртуального контроллера FANUC Robotics Virtual Robot Controller, который обеспечивает точное обучение и выполнение программ в соответствии с информацией о времени цикла.

3.4. Настройка параметров регуляторов в электроприводах роботов и мехатронных систем

3.4.1. Настройка по компьютерной и математической моделям

В современных промышленных устройствах в качестве исполнительных двигателей используются, главным образом, синхронные и асинхронные двигатели переменного тока, динамика которых описывается сложными существенно нелинейными уравнениями. В то же время современные блоки управления (преобразователи) содержат математические модели двигателей, на базе которых в реальном мас-

штабе времени осуществляется линеаризация их нелинейных характеристик и указанные выше двигатели в целях аналитически с успехом описываются линейными зависимостями аналогично двигателям постоянного тока.

Типовой преобразователь в управляемом приводе содержит регуляторы скорости, тока, датчик тока. Регуляторы скорости и тока являются ПИД – регуляторами с изменяемой структурой, а обратная связь по скорости организуется путем подсчета числа импульсов с датчика угла поворота ротора в единицу времени.

На рис. 3.5 приведена типовая структурная схема привода включая двигатель, на которой обозначено: РС – регулятор скорости; РТ – регулятор тока; k_u– коэффициент передачи инвертора; k_u , k_e , $T_э$, $k_м$, $J_{пр}$ - параметры двигателя; $k_{дт}$ - коэффициент передачи датчика тока; $k_{рп}$ – коэффициент передачи регулятора перемещения. Связь структурной схемы системы управления и её математической модели в виде дифференциальных уравнений или передаточных функций является вполне очевидной. Исходя из этого, ограничимся представлением математической модели привода в виде структурной схемы, приведенной на рис. 3.5. Синтез системы будет производиться с использованием пакета Matlab, ориентированного на представление исследуемой системы в виде структурной схемы. Динамические свойства системы во многом определяются качеством контура скорости. Поэтому необходимо и достаточно осуществить настройку регулятора скорости. Для этого воспользуемся стандартным инструментом настройки коэффициентов ПИД регулятора, входящим в комплект последней версии Matlab. Для вызова процедуры настройки необходимо дважды кликнуть на блоке ПИД регулятора и нажать в появившемся окне кнопку «Tune». Инструментальный пакет «PID tuner» предоставляет в распоряжение пользователя графический интерфейс для настройки коэффициентов ПИД регулятора, обеспечивающих желаемое качество переходных процессов.

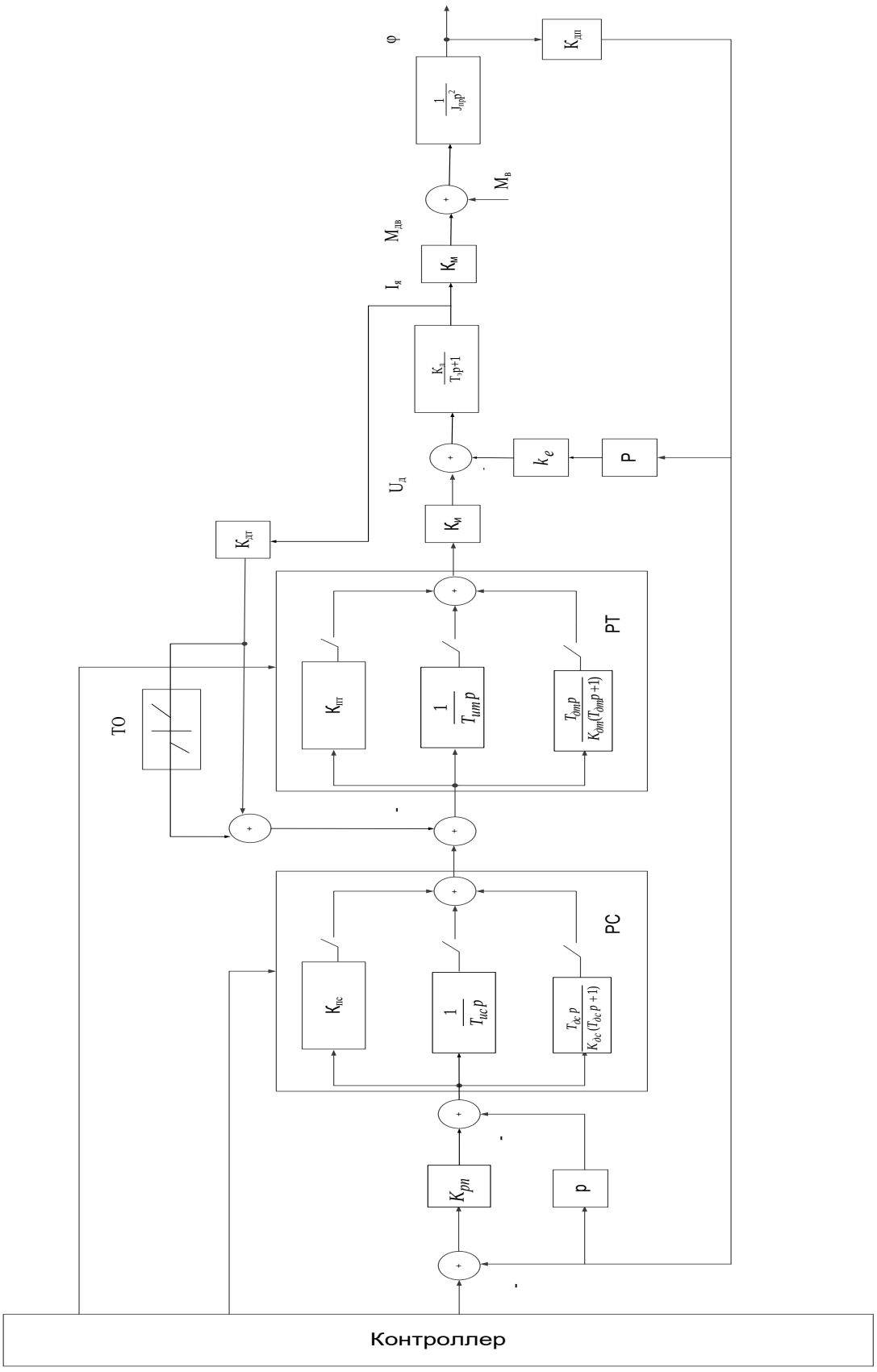


Рис. 3.5. Структурная схема привода

В качестве средства для достижения указанной цели принимается оптимизационный подход, обеспечивающий минимизацию функции штрафа за нарушение динамических ограничений. Особую значимость имеет то обстоятельство, что весь процесс настройки проходит в графическом режиме без необходимости проведения каких-либо вычислений. Окно пакета «PID tuner» представлено на рис. 3.6.

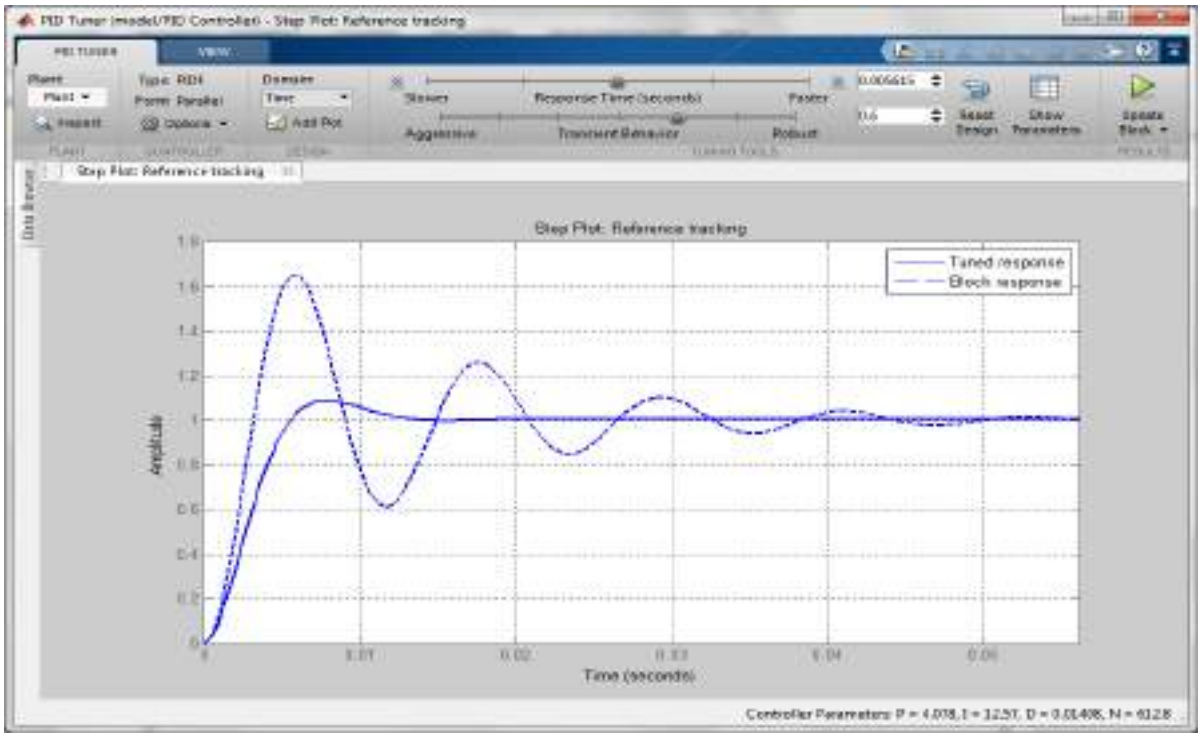


Рис. 3.6. Окно пакета «PID tuner»

Здесь пунктирной линией показан переходный процесс не настроенной системы, сплошной линией – результат настройки. При помощи ползунков «response time» (время отклика) и «transient behavior» (переходный режим) убираем колебательность и перерегулирование с сохранением оптимального быстродействия системы.

Вид настроенного переходного процесса показан на рис. 3.7.

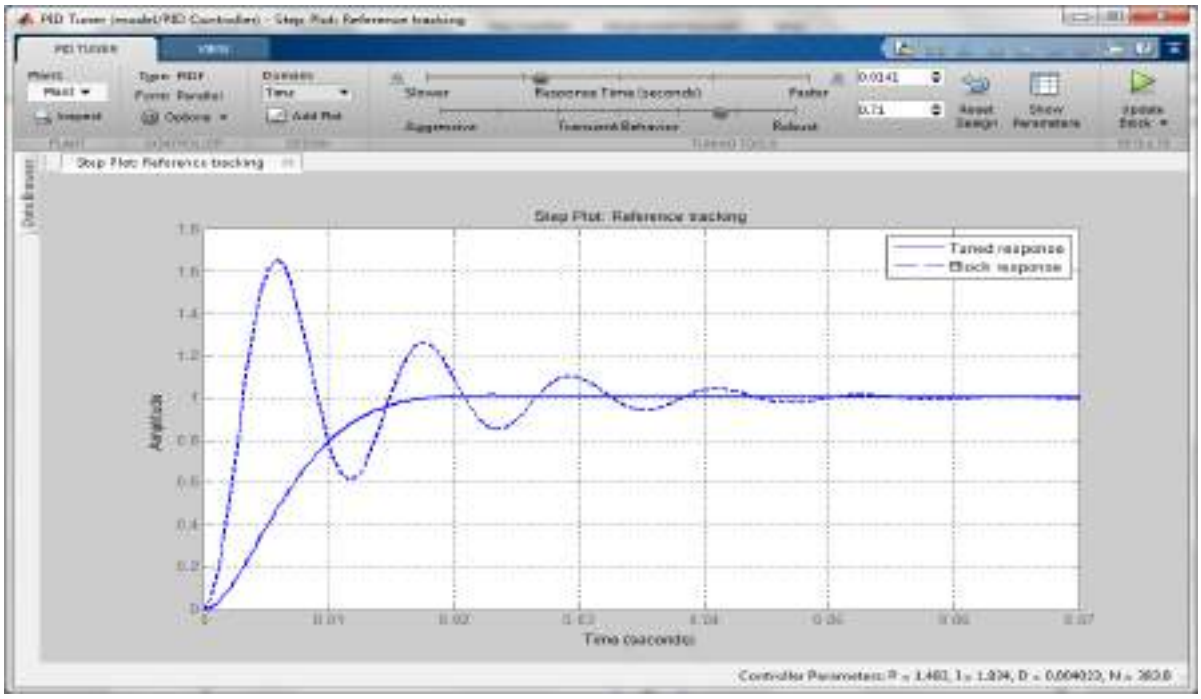


Рис. 3.7. Переходный процесс после настройки коэффициентов

Таблица с результатами выводится по нажатию на кнопку «Show parameters». Результаты настройки представлены на рис.3.8.

Controller Parameters

	Tuned	Block
P	1.4827	1.4827
I	1.8336	1.8336
D	0.0040228	0.0040228
N	383.7963	383.7963

Performance and Robustness

	Tuned	Block
Rise time	0.0103 seconds	0.0103 seconds
Settling time	0.0158 seconds	0.0158 seconds
Overshoot	1.28 %	1.28 %
Peak	1.01	1.01
Gain margin	-Inf dB @ 0 rad/s	-Inf dB @ 0 rad/s
Phase margin	71 deg @ 142 rad/s	71 deg @ 142 rad/s
Closed-loop stability	Stable	Stable

Рис. 3.8. Результаты настройки коэффициентов ПИД регулятора скорости

По завершении процесса настройки необходимо подтвердить результаты, нажав на кнопку «Update block».

Структурная схема контура регулирования тока при пренебрежении противо-ЭДС имеет вид, представленный на рис. 3.9.

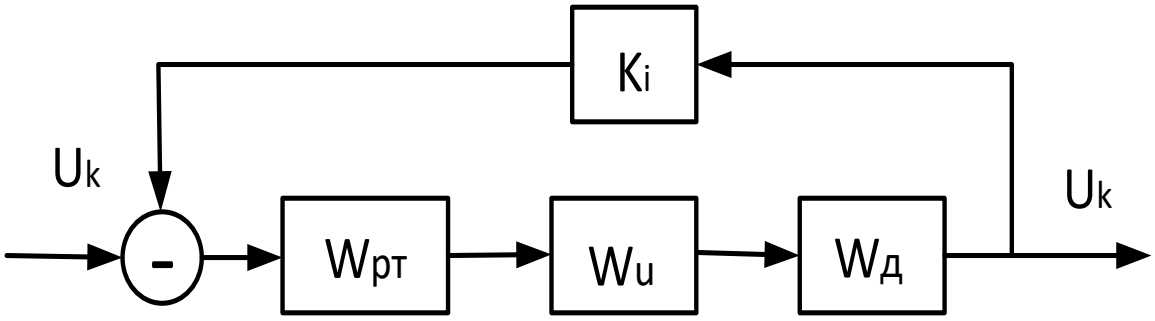


Рис. 3.9. Структурная схема контура тока

Здесь $U_{кт}$ – входное воздействие контура тока; K_I – коэффициент обратной связи по току; $W_{рт}$, W_u, $W_д$ – передаточные функции регулятора тока, инвертора и двигателя.

Передаточные функции компонентов контура тока имеют вид:

$$W_{pT} = k_T(T_T p + 1)p^{-1};\ W_U = k_u;\ W_д = k_д(T_э p + 1)^{-1}. \quad (3.1)$$

Передаточная функция замкнутой системы, полученная из условия компенсации электромагнитной постоянной времени двигателя будет иметь вид:

$$W_{кт} = \frac{k_I^{-1}}{(k_T k_u k_д k_I)^{-1} p + 1}. \quad (3.2)$$

Постоянная времени и коэффициент передачи апериодического звена (3.2) легко определяются исходя из требований к динамическим показателям привода.

3.4.2. Практическая настройка электропривода CSD-DH мехатронной системы металлорежущего станка

Первоначальный пуск электропривода

Перед проведением работ по настройке электропривода (ЭП) необходимо визуально проверить комплектность, монтаж и электропроводку согласно схемам электрическим принципиальным и соединений, прилагаемым к металлорежущему станку.

Затем необходимо проверить исправность составных частей станка перед пуском и определить готовности их к пуску согласно руководству по эксплуатации станка.

Произвести включение и выключения станка и проверить режим аварийного выключения от аварийных кнопок и при наезде на конечные выключатели (если они имеются). При проведением работ по настройке ЭП необходимо пользоваться измерительной аппаратурой:

• профессиональный мультиметр;

• ПК с установленной программой Servo Monitor, поставляемой с ЭП.

Ввод в эксплуатацию электропривода и электродвигателя

При первом включении электропривода необходимо следовать следующей процедуре:

1. Подать силовое питание на ЭП, сигналы разрешения работы и включения ЭП не подавать. Подключить ПК к ЭП и запустить программу Servo Monitor. Установить соединение, происходит автоматическое считывание параметров ЭП.

2. Проконтролировать правильность установки параметров, определяющих тип ЭП (p3) и ЭД (p200) фактически уставленным на станке. При несоответствии следует выполнить процедуру "Установка конфигурации", но перед этим связаться с сотрудниками фирмы "Балт-Систем".

3. Записать версии ПрО в свидетельство о выходном контроле на станок.

Процедура "Установки конфигурации" ЭП (для ЭП "BSD-XX").

1. Подключить ПК к ЭП и запустить программу Servo Monitor. Установить соединение, происходит автоматическое считывание параметров ЭП.

2. В диалоге "Служебные" выбрать "Установка конфигурации". В новом меню выбрать необходимый тип силовой части ЭП и ЭД. Нажать "Установка".

3. В диалоге "Файл" выбрать "Запись параметров в EEPROM". В диалоге "Служебные" выбрать "RESET".

4. Снять силовое питание и через паузу подать его вновь. Установить соединение, происходит автоматическое считывание параметров ЭП. Проконтролировать правильность установки параметров, определяющих тип ЭП (p3) и ЭД (p200)

5. ЭП готов к настройке.

Циклограмма включения и выключения электропривода

ЭП имеет 4-е устойчивых состояния:

1. ЭП выключен (Drive OFF) – силовое напряжение на ЭП не подключено.

2. Готовность к включению (Ready to power up) - силовое напряжение на ЭП подключено, идет заряд звена постоянного тока =540 В.

3. Готовность к работе (Ready to operation) - силовое напряжение на ЭП подключено, отключение зарядных резисторов от звена постоянного тока =540 В.

4. ЭП в работе (In-operation) – включается ШИМ и подано разрешение ЭП.

При нормальном включении ЭП, он последовательно проходит эти 4-е состояния. Каждое состояние необходимо контролировать в логике контроллера и аппаратно в электрической схеме включения ЭП.

При нормальном выключении ЭП, он последовательно проходит эти 4-е состояния в обратной последовательности.

Возможны аварийные ситуации, когда эта последовательность может нарушаться. В этих случаях возможно аварийное, неконтролируемое торможение ЭП на свободном выбеге. Если такая ситуация недопустима, то необходимо предусмотреть дополнительное динамическое торможение ЭД, не зависящее от состояния ЭП. На рис. 3.10 приведена циклограмма включения и выключения ЭП.

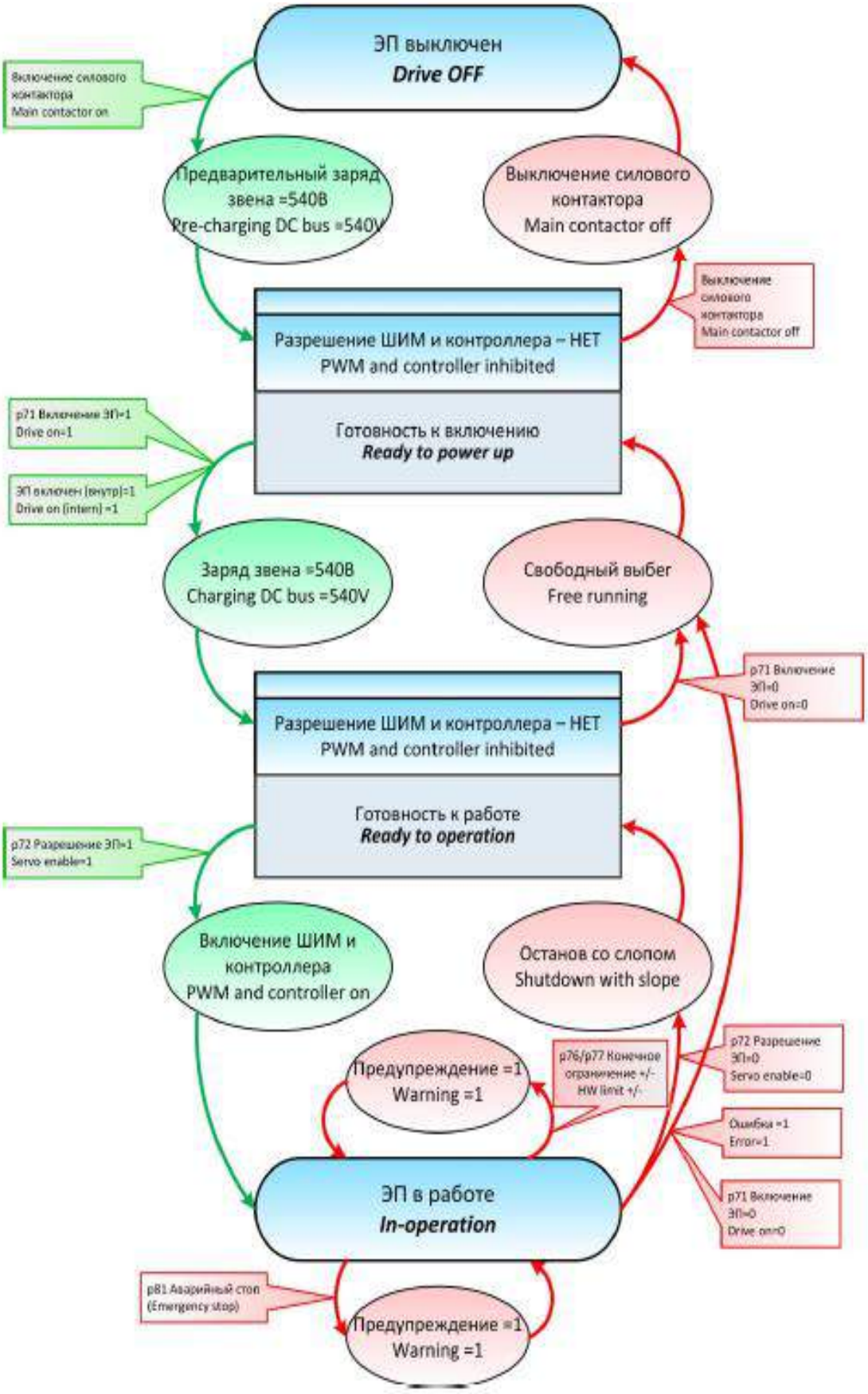


Рис. 3.10. Циклограмма включения и выключения ЭП

Настройка электропривода

Общие замечания.

• Если не указано дополнительно, то параметры ЭП и ЭД были установлены "по умолчанию", т.е. рекомендуемые изготовителем, без оптимизации настройки контуров регулирования.

• настоящая инструкция была написана на примере настройки ЭП CSD-DH16 и ЭД 215NYS-M-20

• последовательность настройки – в соответствии с данным документом, т.е. сначала настраивается регулятор тока, затем скорости и в конце - регулятор положения (если он имеется).

• настройка регуляторов тока и скорости ЭП производится при отключённом регуляторе положения (ЧПУ). Особенно внимательно необходимо быть при настройке неуравновешенных вертикальных осей и осей с механическим зажимом (тормозом).

• некоторые тесты предполагают большие скорости вращения ЭД, поэтому перед проведением настройки необходимо вывести контролируемые оси в безопасное положение, например, в середину хода.

Настройка регулятора тока (момента)

Параметры регулятора тока определяются электромеханическими данными ЭД и силовой частью ЭП. Поэтому обычно настройки не требуется, необходимо лишь проконтролировать окончательные ЛАЧХ и ЛФЧХ.

Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ

Установить параметры регулятора тока по умолчанию:

• Кр – пропорциональный коэффициент (параметр p304);

• Кi – интегральный коэффициент (p305);

• отключить фильтр сглаживания команды тока (p311=0);

k_p=12AV k_i=5$mmmm$ F_i=0.

Контролируемые данные:

• заданное значение тока на входе регулятора тока IqsetAF, A;

• актуальное значение тока Iqact, A.

Заданное воздействие:

• наброс заданного тока в виде Чирп-сигнала Iqset, A;

• частота 0-2000 Гц;

• амплитуда – 50 % от номинального значения ЭД.

Время измерения:

• зависит от длины Чирп-сигнала (при длине 2048 точки получаем 512 мсек);

• период съема данных 0,25 ms.

Результат настройки: после преобразования Фурье контролируемых данных получаем ЛАЧХ и ЛФЧХ. Определяем полосу пропускания регулятора по уровню -3дБ и запас по фазе на этой частоте.

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ F=200 Гц и запас по фазе на этой частоте равен 180˚-65˚=115˚.

На рис. 3.11 изображена предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора тока.

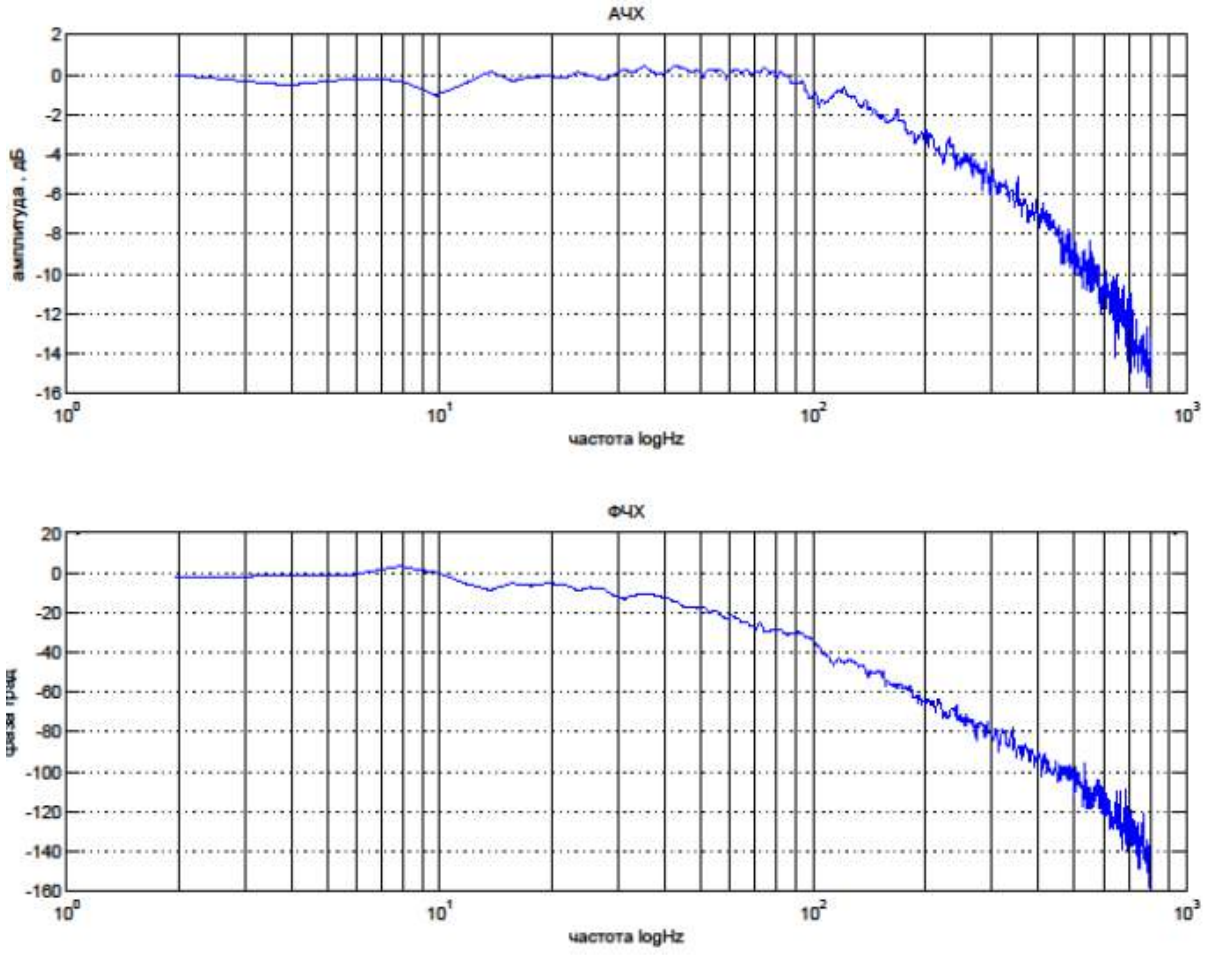


Рис. 3.11. Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора тока

Настройка пропорциональной и интегральной составляющей

1-й шаг. Настройка пропорционального коэффициента.

Установить параметры регулятора тока по умолчанию (отключить фильтр сглаживания команды тока).

Установить интегральный коэффициент равный 0.

Контролируемые данные:

• заданное значение тока на входе регулятора тока IqsetAF, A;

• актуальное значение тока Iqact, A;

• актуальное значение тока Idact, A;

Заданное воздействие:

• ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока Iqset , A;

• величина тока – 25% от номинального значения ЭД;

• период наброса заданного значения – 50 мсек;

• длительность заданного значения – 25 мсек;

• количество повторений – 10.

Период съема данных: 0,25 мсек

Результат настройки:

• увеличивая пропорциональный коэффициент, можно добиться перерегулирования Iqact не более 5-10 %;

• контролировать отсутствие возбуждения тока Idact.

Данный тест необходим, если

• неизвестны параметры регулятора тока по умолчанию;

• ЭП пускается в первый раз.

Ниже приведены графики при:

$k_p = 12\frac{A}{V}$ $k_p = 25\frac{A}{V}$ $k_p = 35\frac{A}{V}$. Выбираем $k_p = 25\frac{A}{V}$.

На рис. 3.12. изображен ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при Kp=12 A/V. На рис. 3.13. показан ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при Kp=25 A/V. На рис. 3.14. представлен ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при Kp=35 A/V.

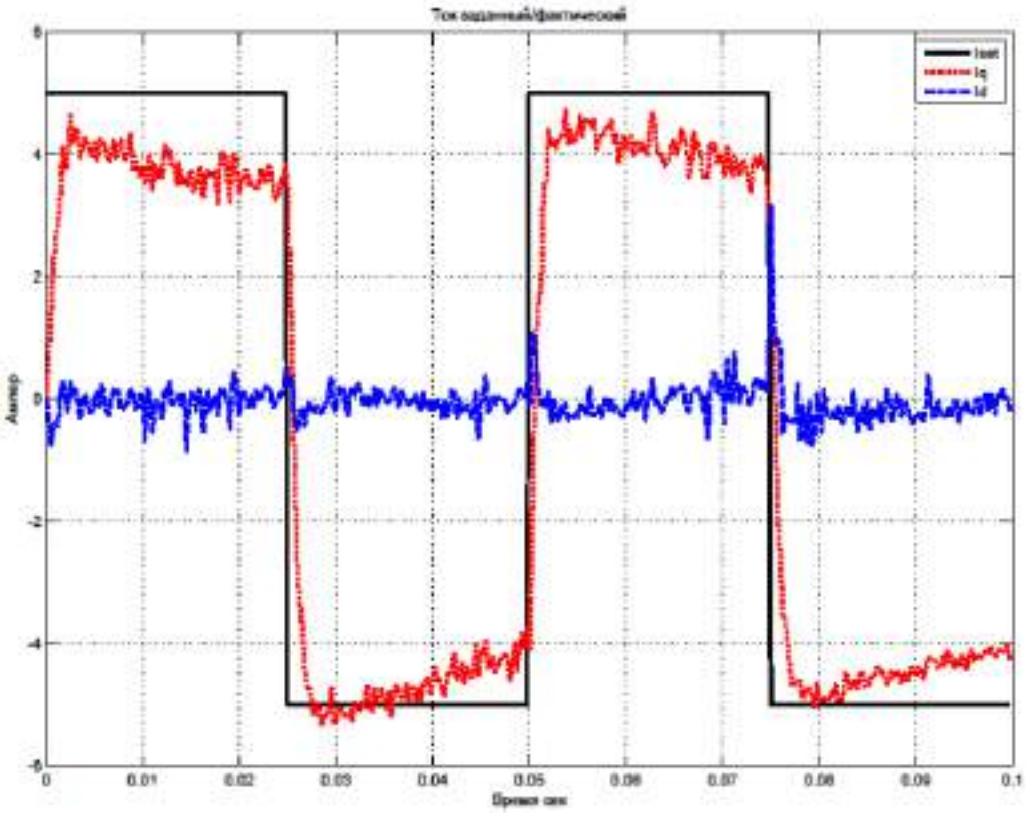


Рис. 3.12. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при K_p=12 A/V

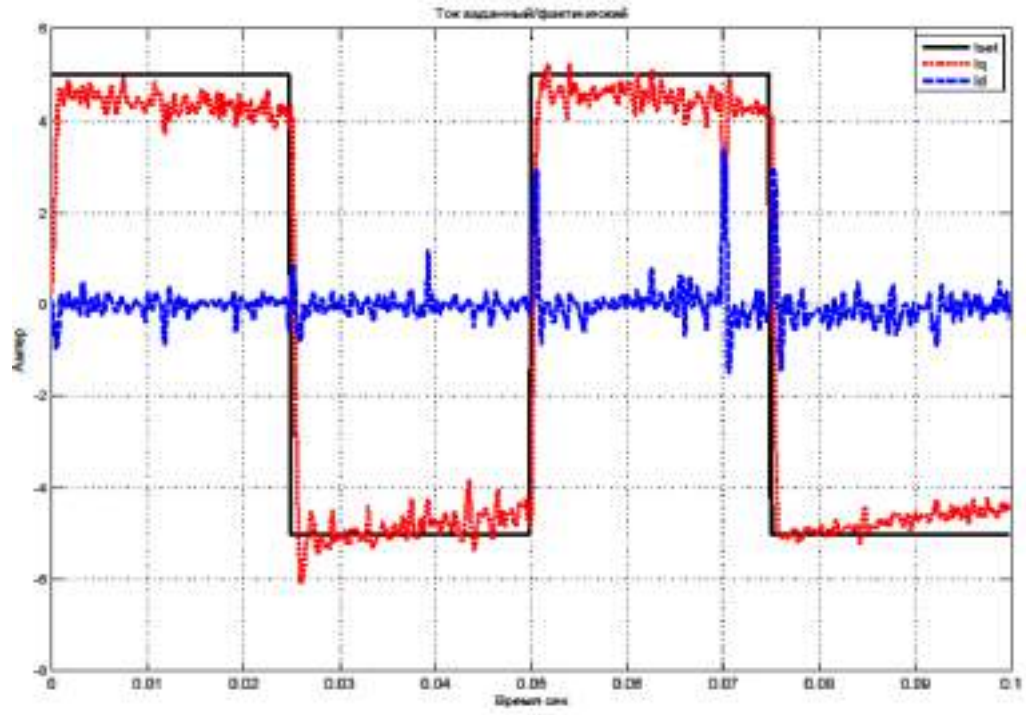


Рис. 3.13. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при K_p=25 A/V

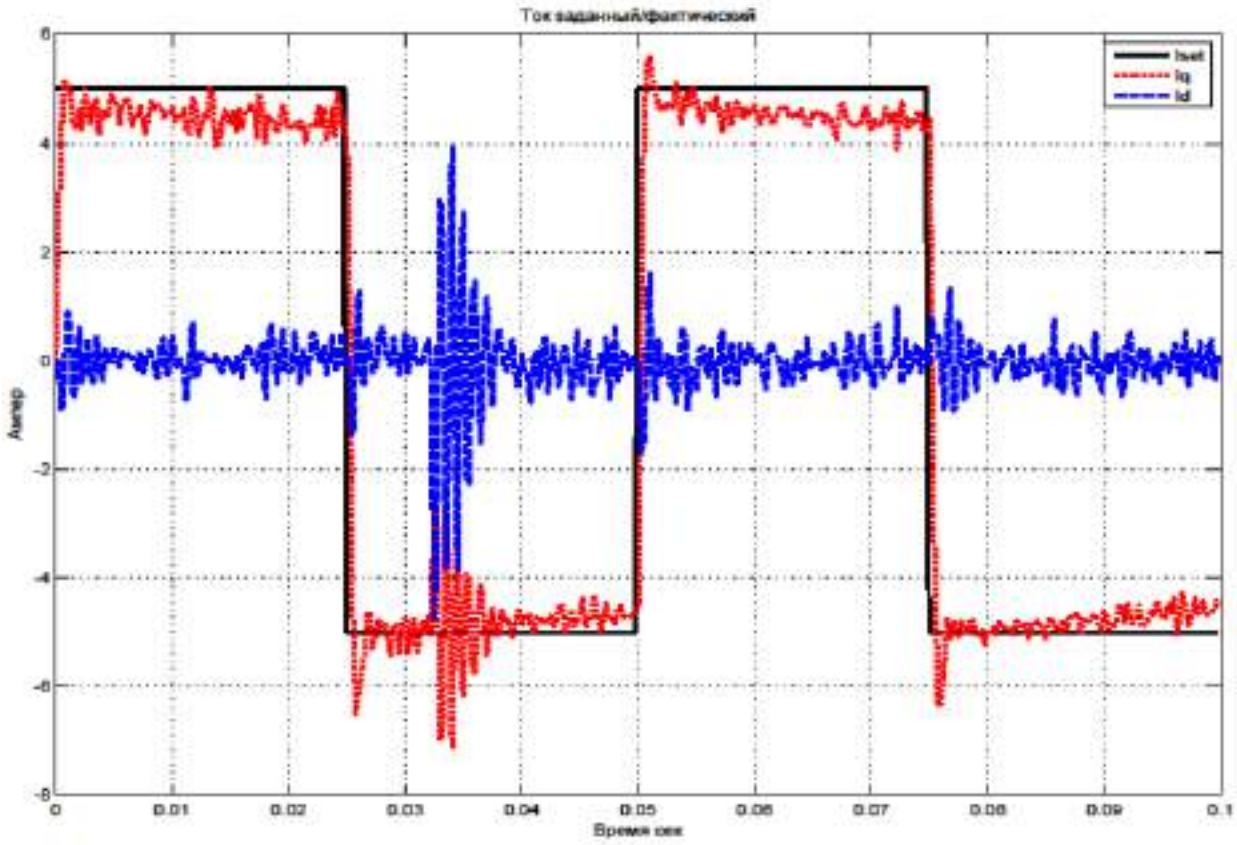


Рис. 3.14. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при K_p=35 A/V

2-й шаг. Настройка интегрального коэффициента.

Установить пропорциональный коэффициент, выбранный в 1-м шаге ($kkpp$=25$AAVV$). Установить интегральный коэффициент по умолчанию.

Контролируемые данные:

• заданное значение тока на входе регулятора тока IqsetAF, A;

• актуальное значение тока Iqact, A;

• актуальное значение тока Idact, A.

Заданное воздействие:

• ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока Iqset, A;

• величина тока – 25% от номинального значения ЭД;

• период наброса заданного значения – 50 мсек;

• длительность заданного значения – 25 мсек;

• количество повторений – 10.

Период съема данных: 0,25 мсек.

Результат настройки:

• изменяя интегральный коэффициент, добиться перерегулирования Iq не более 5-10 %. Возможен небольшой колебательный процесс (не более 2-3 волн);

• контролировать отсутствие возбуждения тока Idact.

Ниже приведены графики при: k_i=5ms, k_i=3ms и k_i=2ms.

Выбираем k_i=3ms. На рис. 3.15 изображен ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при Ki=5ms. На рис.3.16 показан ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при Ki=3ms. На рис.3.17 представлен ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при Ki=2ms.

3-й шаг. Проверка работы сглаживающего фильтра заданного тока.

Установить пропорциональный коэффициент, выбранный в 1-м шаге ($kkpp$=25$AAVV$). Установить интегральный коэффициент, выбранный во 2-м шаге (k_i=3m).

Включить фильтр сглаживания команды тока (p311=1)

k_p=25AV k_i=3m F_i=1.

Контролируемые данные:

• заданное значение тока на входе регулятора тока IqsetAF, A;

• актуальное значение тока Iqact, A;

• актуальное значение тока Idact, A.

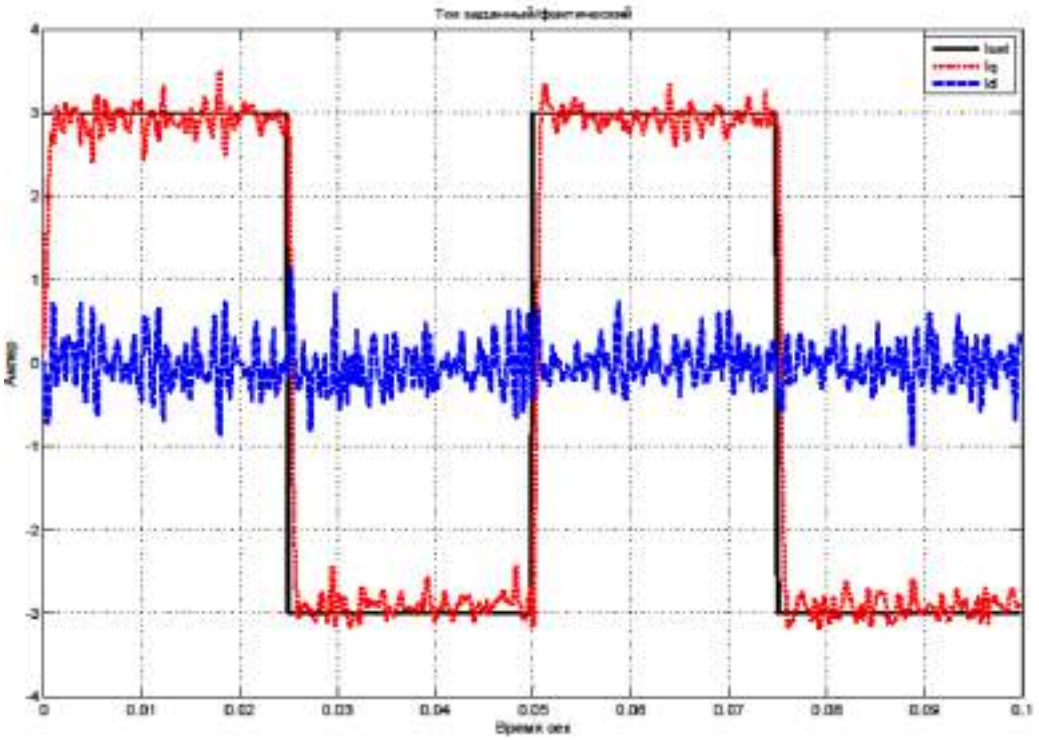


Рис. 3.15. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при K_i=5ms

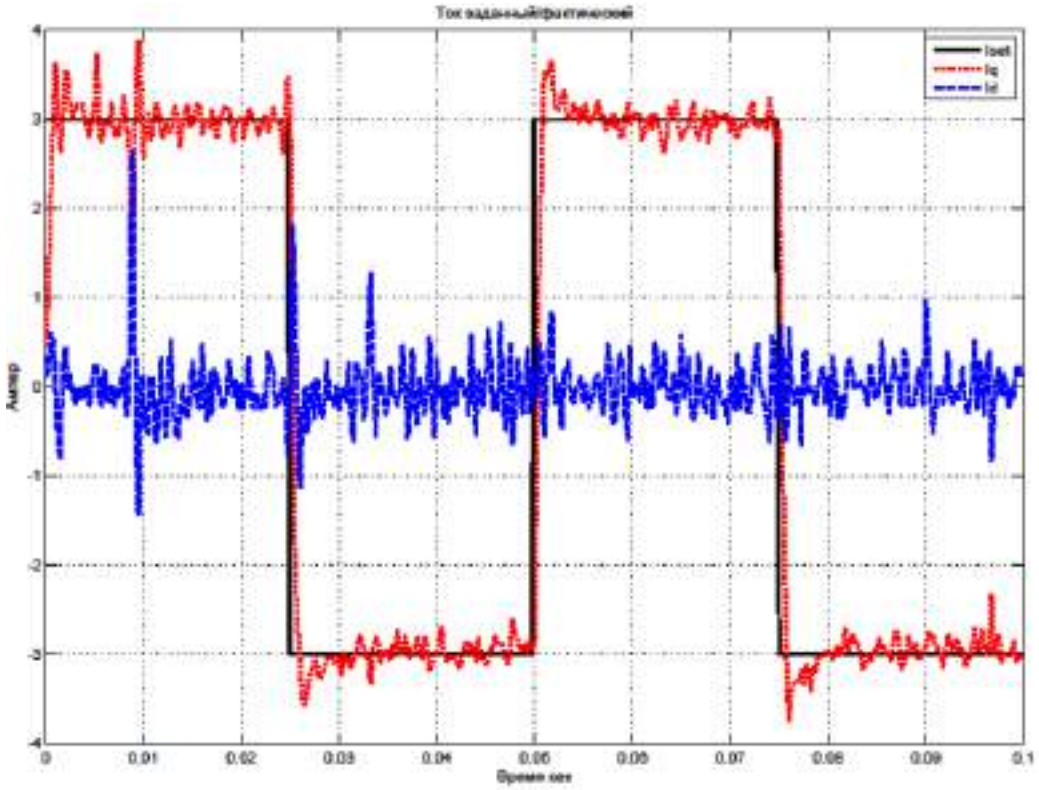


Рис. 3.16. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при K_i=3ms

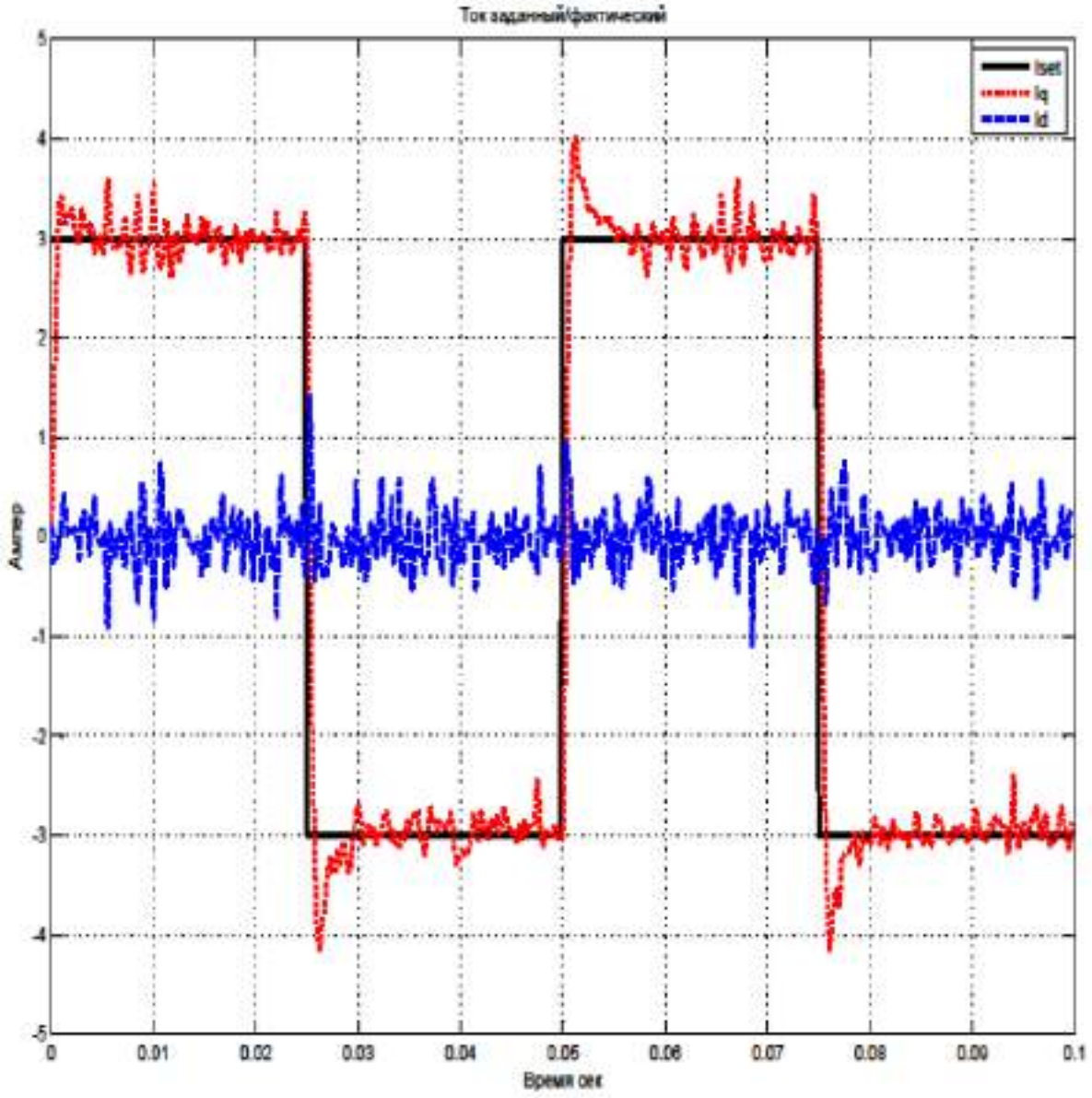


Рис. 3.17. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при K_i=2ms

Заданное воздействие:

• ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока Iqset, A;

• величина тока – 25% от номинального значения ЭД;

• период наброса заданного значения – 50 мсек;

• длительность заданного значения – 25 мсек;

• количество повторений – 10.

Период съема данных:

• 0,25 мсек

Результат настройки:

• передний и задний фронт заданного значение тока на входе регулятора тока IqsetPI имеет сглаженный вид;

• переходный процесс должен быть аналогичен шагу 2;

• контролировать отсутствие возбуждения тока Idact.

На рис. 3.18 показан ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при Kp=25 A/V, Ki=3ms и Fi=1.

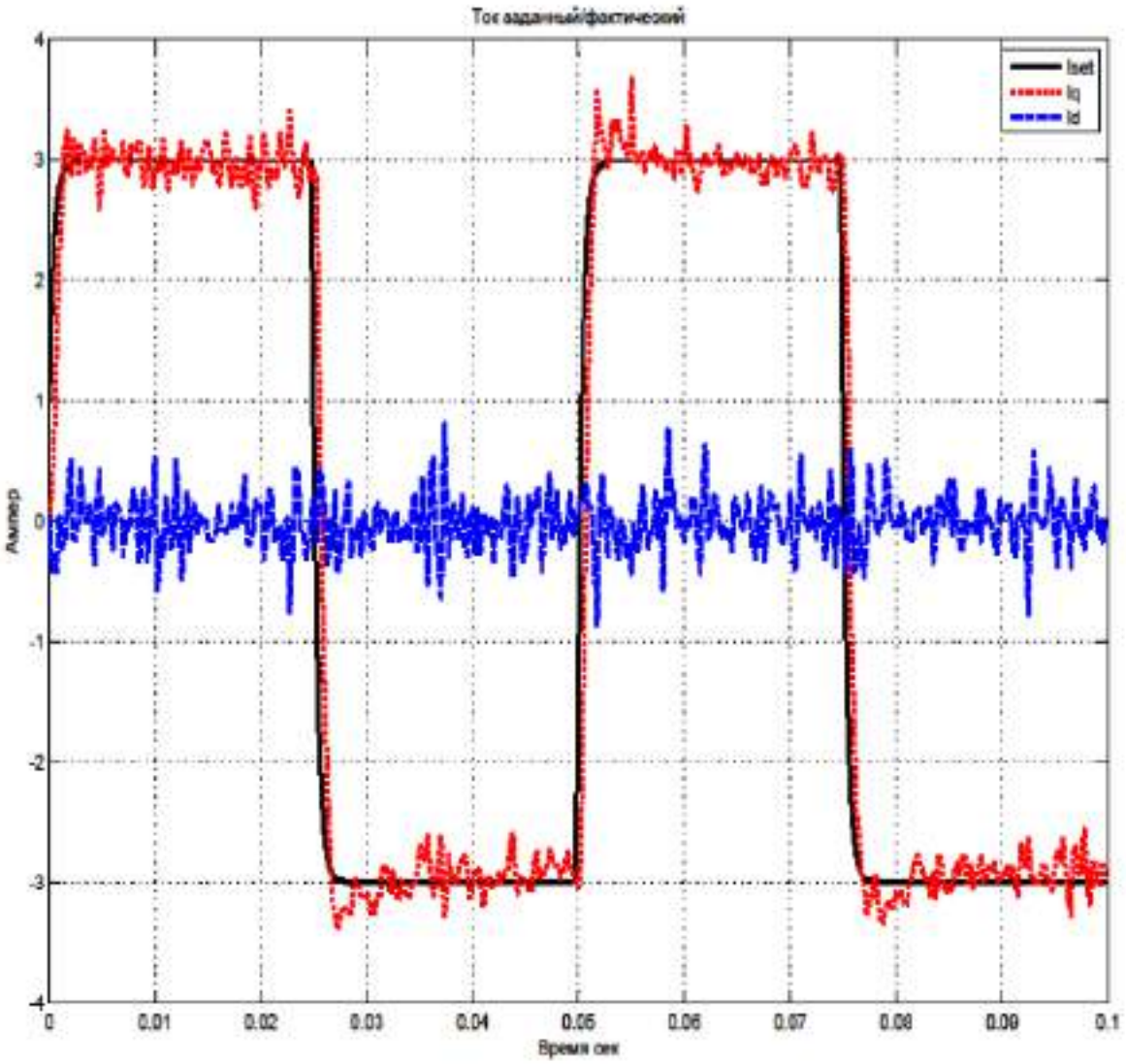


Рис. 3.18. Ступенчатый наброс заданного значения тока на входе регулятора тока IqsetPI при K_p=25 A/V K_i=3ms F_i=1

Окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ

При изменении параметров по умолчанию необходимо ещё раз снять ЛАЧХ и ЛФЧХ.

Ниже приведены графики при параметрах регулятора тока:

• k_p=25AV k_i=3m F_i=1.

Результат настройки:

• после преобразования Фурье контролируемых данных получаем ЛАЧХ и ЛФЧХ. Определяем полосу пропускания регулятора по уровню -3дБ и запас по фазе на этой частоте.

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ F=650 Гц и запас по фазе на этой частоте равен 180˚-120˚=60˚.

На рис. 3.19 показана окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора тока.

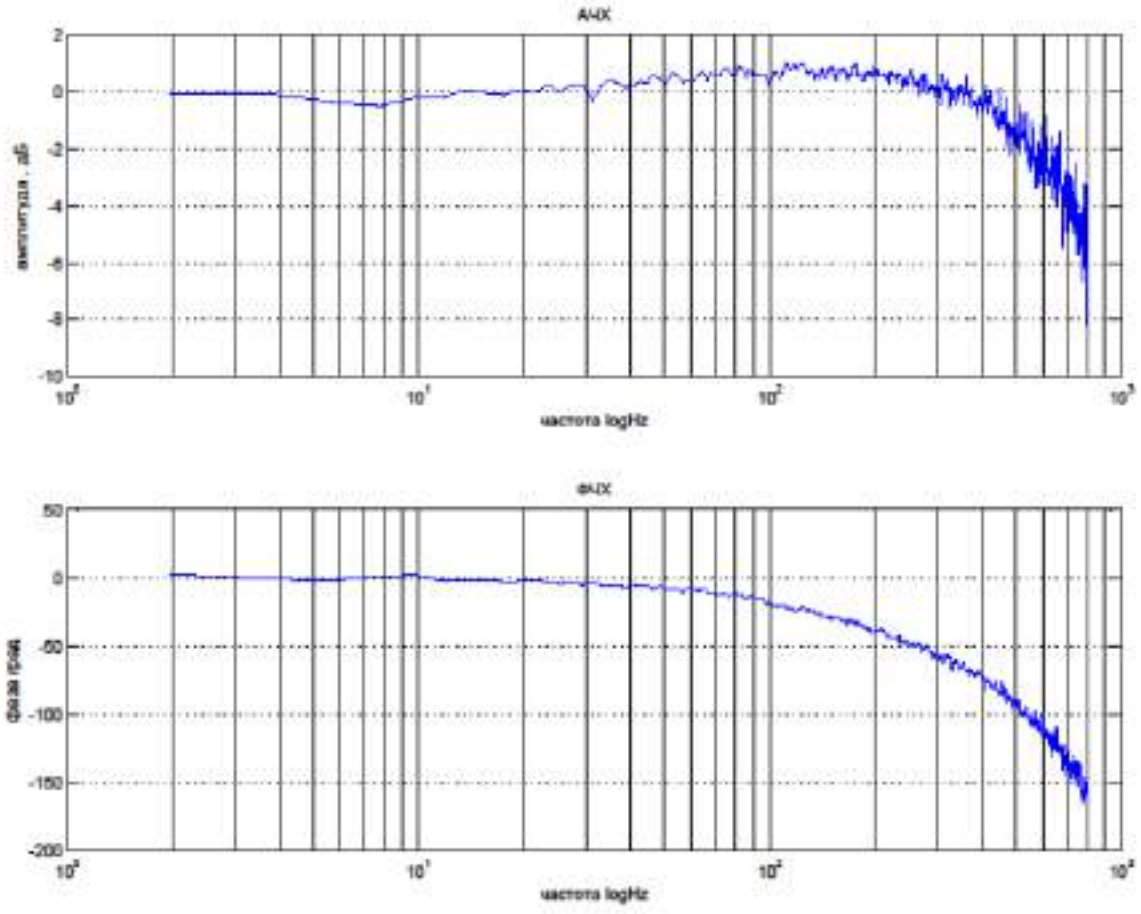


Рис. 3.19. Окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора тока.

Настройка регулятора скорости

Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ

Установить параметры регулятора скорости по умолчанию:

• Кр – пропорциональный коэффициент (р404);

• Кi – интегральный коэффициент (р405);

• Kpd - Псевдо дифференциальная составляющая регулятора (р406);

• отключить фильтр обратной связи по скорости (р414=0);

k_p=600 s^{-1} k_i=10m k_p=100% F_n=0.

Контролируемые данные:

• заданное значение скорости на входе регулятора скорости NsetPI, об/мин;

• актуальное значение скорости ЭД NactBF, об/мин.

Заданное воздействие:

• наброс заданной скорости в виде Чирп-сигнала Nset, об/мин;

• частота 0-500 Гц;

• амплитуда – 2,5% от номинального значения ЭД.

Время измерения:

• зависит от длины Чирп-сигнала (при длине 2048 точки получаем 1024 мсек);

• период съема данных 0,5 ms;

Результат настройки:

• после преобразования Фурье контролируемых данных получаем ЛАЧХ и ЛФЧХ. Определяем полосу пропускания регулятора по уровню -3дБ и запас по фазе на этой частоте.

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ F=110 Гц и запас по фазе на этой частоте равен 180˚-130˚=50˚.

Обращаем внимание на то, что имеется подъем ЛАЧХ на +2,6дБ на частоте 27 Гц. На рис.3.20 представлена предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора скорости.

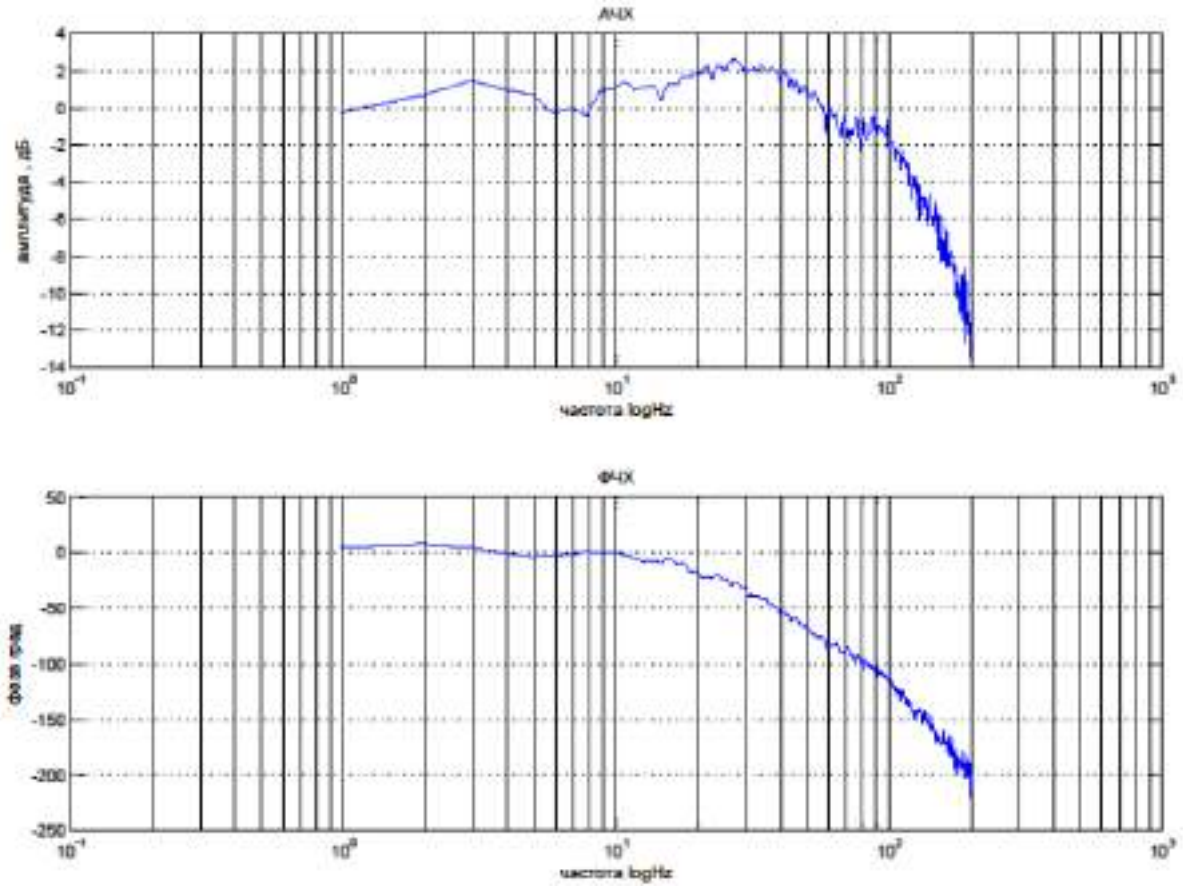


Рис. 3.20. Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора скорости

Настройка пропорциональной и интегральной составляющей

1-й шаг. Настройка пропорционального коэффициента.

Установить параметры регулятора скорости по умолчанию (отключить фильтр обратной связи по скорости).

Установить интегральный коэффициент равный 0.

Контролируемые данные:

• заданное значение скорости на входе регулятора скорости NsetPI, об/мин;

• актуальное значение скорости ЭД NactBF, об/мин;

• заданное значение на входе регулятора тока (Iq set AF), А;

• актуальное значение тока Iqact, А.

Заданное воздействие:

• ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости Nset, об/мин;

• величина скорости – 2,5% от номинального значения ЭД;

• период наброса заданного значения – 200 мсек;

• длительность заданного значения – 100 мсек;

• количество повторений – 10.

Период съема данных: 0,5 мсек.

Результат настройки:

• увеличивая пропорциональный коэффициент, добиться отсутствия перерегулирования скорости;

• контролировать отсутствие ограничения (насыщения) заданного значения на входе регулятора тока Iq set AF и тока Iqact.

При необходимости - уменьшить амплитуду заданной скорости.

Ниже приведены графики при: k_p=400 s^{-1} , k_p=500 s^{-1} и k_p=600 s^{-1}.

Выбираем k_p=500 s^{-1}.

На рис.3.21 показан ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{kp} = \mathbf{444}\ \boldsymbol{s^{-11}}$. На рис.3.22. представлен ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{kp} = \mathbf{544}\ \boldsymbol{s^{-11}}$. На рис.3.23 изображен тупенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{kp} = \mathbf{644}\ \boldsymbol{s^{-11}}$.

2-й шаг. Настройка интегрального коэффициента.

Установить пропорциональный коэффициент, выбранный в 1-м шаге (k_p = 500 s^{-1}).

Установить интегральный коэффициент по умолчанию.

Контролируемые данные:

• заданное значение скорости на входе регулятора скорости NsetPI, об/мин;

• актуальное значение скорости ЭД NactBF, об/мин;

• заданное значение на входе регулятора тока (Iq set AF), А;

• актуальное значение тока Iqact, А.

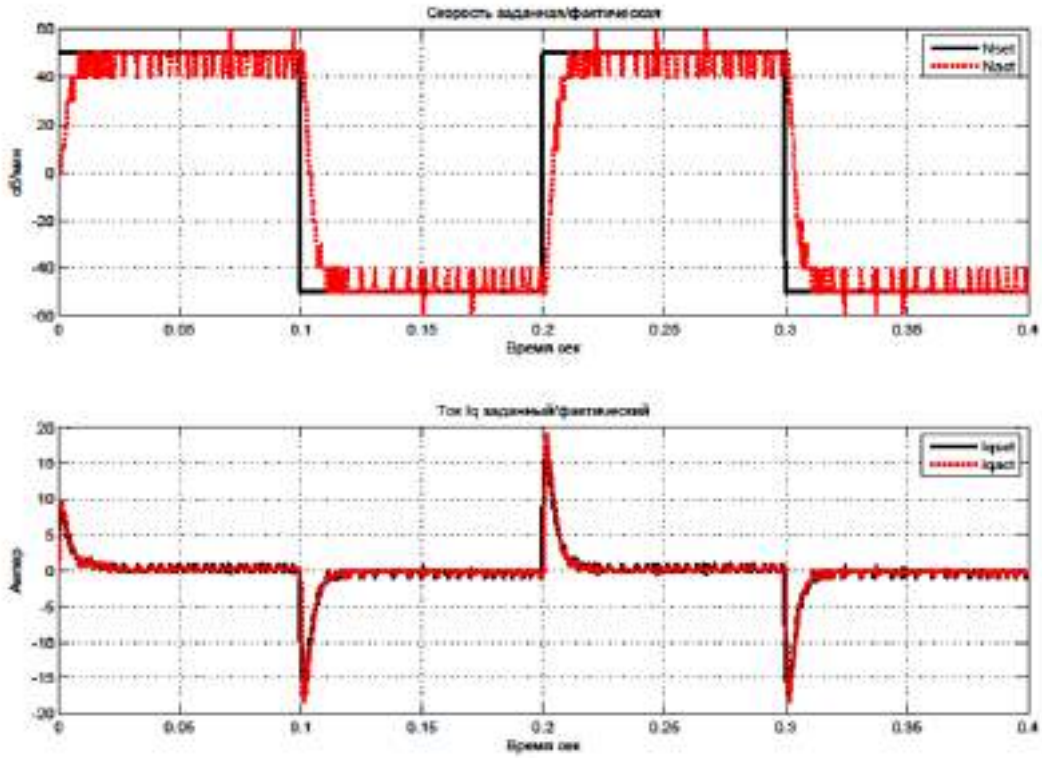


Рис. 3.21. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{k_p = 444\ s^{-11}}$

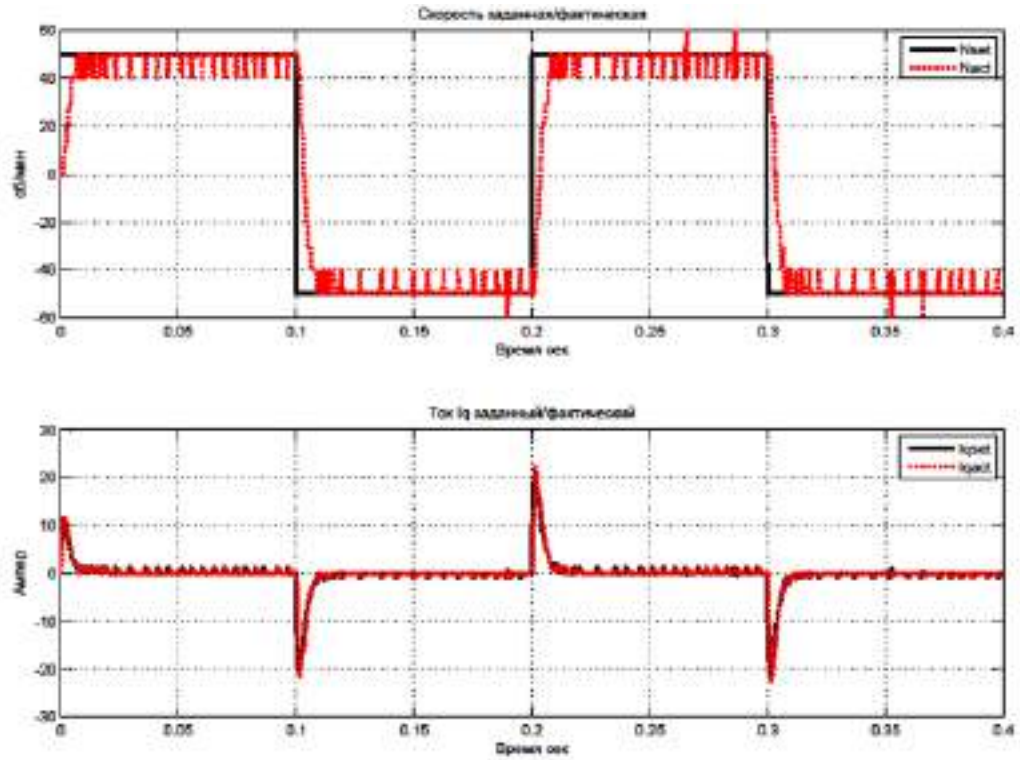


Рис. 3.22. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{k_p = 544\ s^{-11}}$

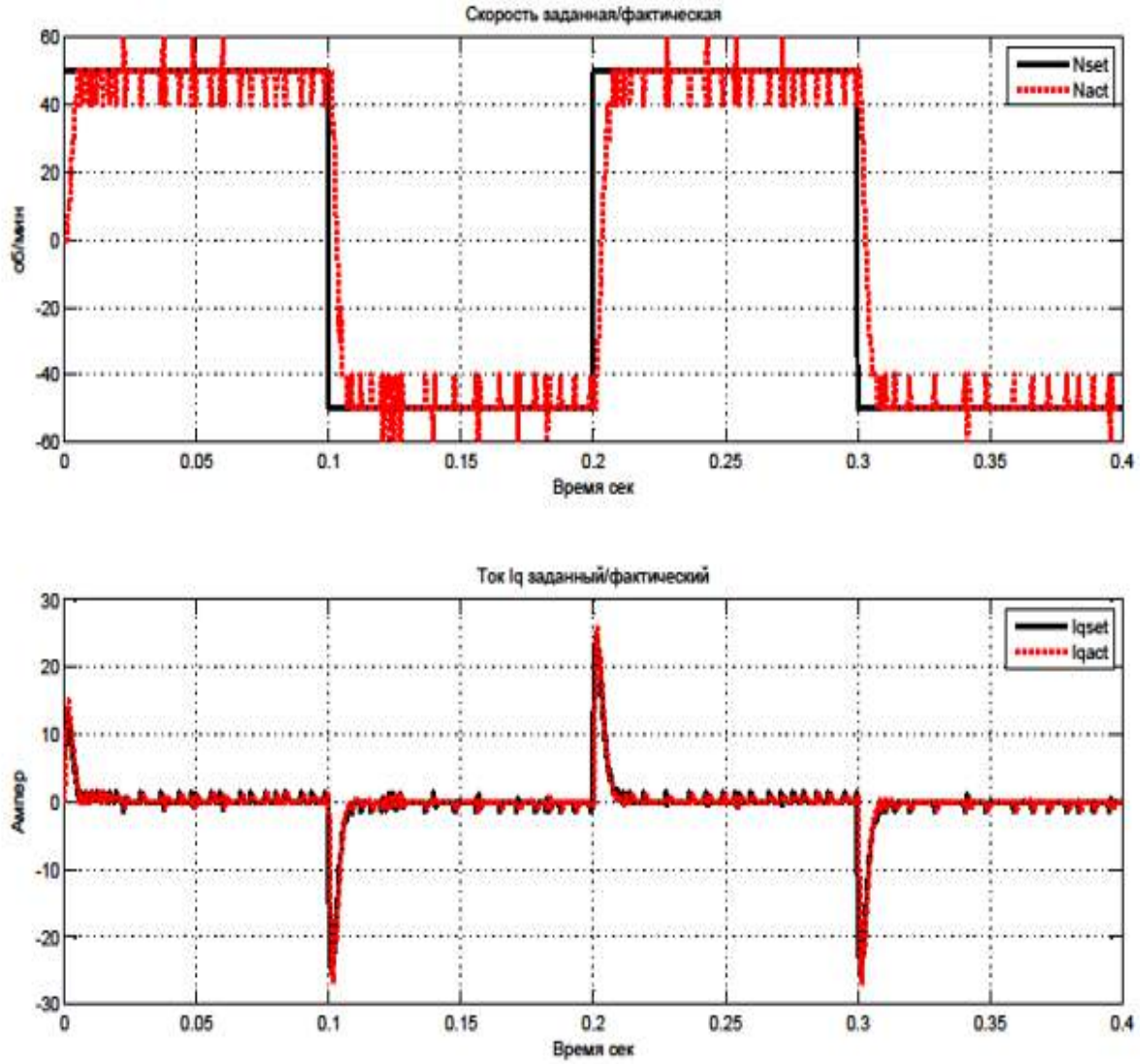


Рис. 3.23. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{k_p} = \mathbf{644}\ \boldsymbol{s^{-11}}$

Заданное воздействие:

• ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости Nset, об/мин;

• величина скорости – 2,5% от номинального значения ЭД;

• период наброса заданного значения – 200 мсек;

• длительность заданного значения – 100 мсек;

• количество повторений – 10.

Период съема данных: 0,5 мсек

Результат настройки:

• изменяя интегральный коэффициент, добиться отсутствия перерегулирования скорости. Возможен небольшой колебательный процесс (не более 2-3 волн);

• контролировать отсутствие ограничения (насыщения) заданного значения на входе регулятора тока Iq set AF и тока Iqact. При необходимости - уменьшить амплитуду заданной скорости.

Ниже приведены графики при: $k_i = 10ms$, $k_i = 30ms$ и $k_i = 50ms$.

Выбираем $k_i = 50ms$. На рис. 3.24 изображен ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{ki} = \mathbf{141}\boldsymbol{s}$. На рис. 3.25 показан ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{ki} = \mathbf{341}\boldsymbol{s}$. На рис. 3.26 представлен ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{ki} = \mathbf{541}\boldsymbol{s}$.

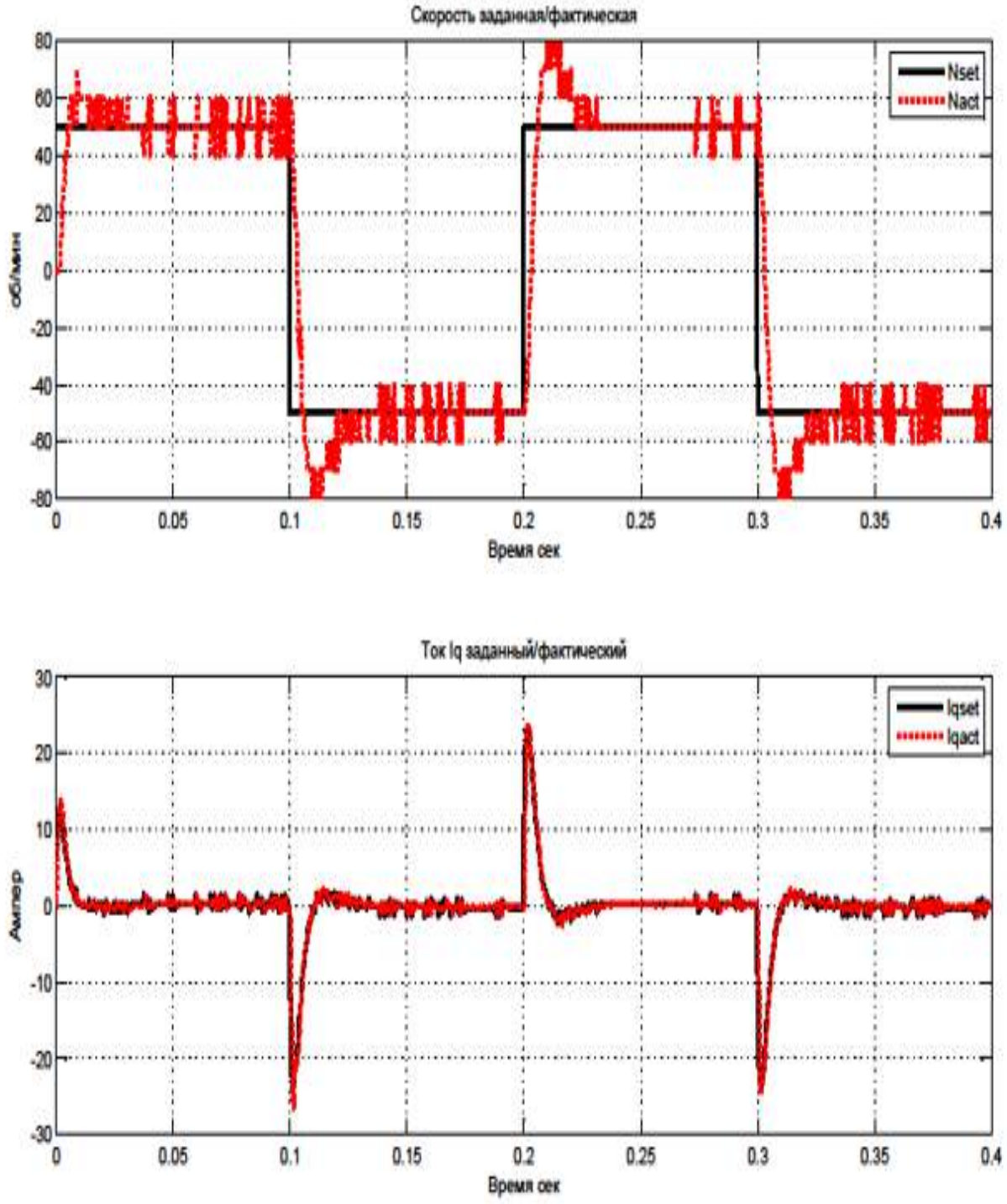


Рис. 3.24. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{k_i} = \mathbf{141}\boldsymbol{s}$

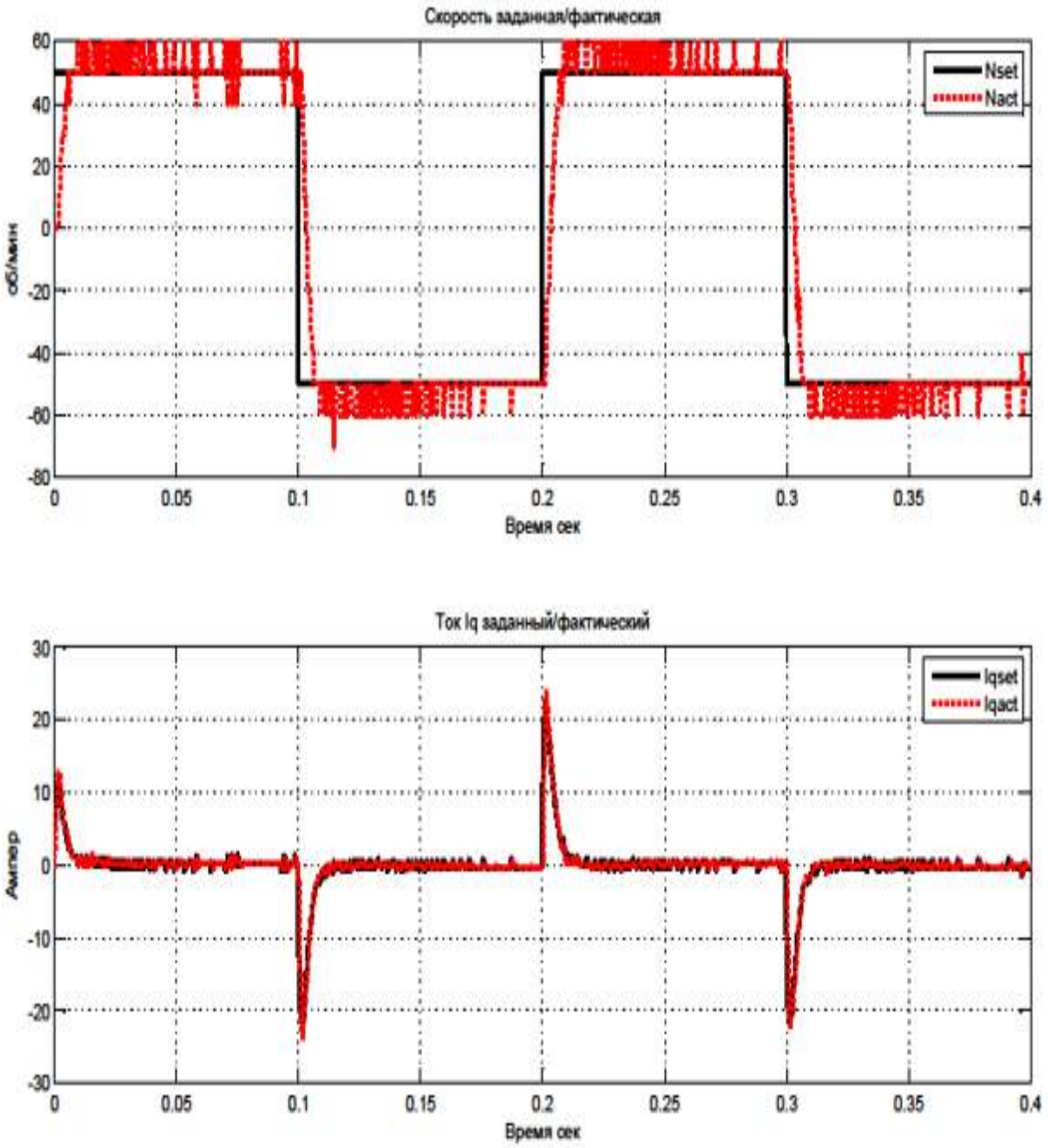


Рис. 3.25. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{k_i} = \boldsymbol{341s}$

3-й шаг. Проверка работы сглаживающего фильтра обратной связи по скорости.

Установить пропорциональный коэффициент, выбранный в 1-м шаге (kp = 500 s−1). Установить интегральный коэффициент, выбранный во 2-м шаге (kii = 50ms).

Включить фильтр обратной связи по скорости (p311=1) и его параметры по умолчанию:

• p415 Частота среза фильтра обратной связи по скорости – 100 Гц

• p416 Уровень фильтра обратной связи по скорости – 40 об/мин.

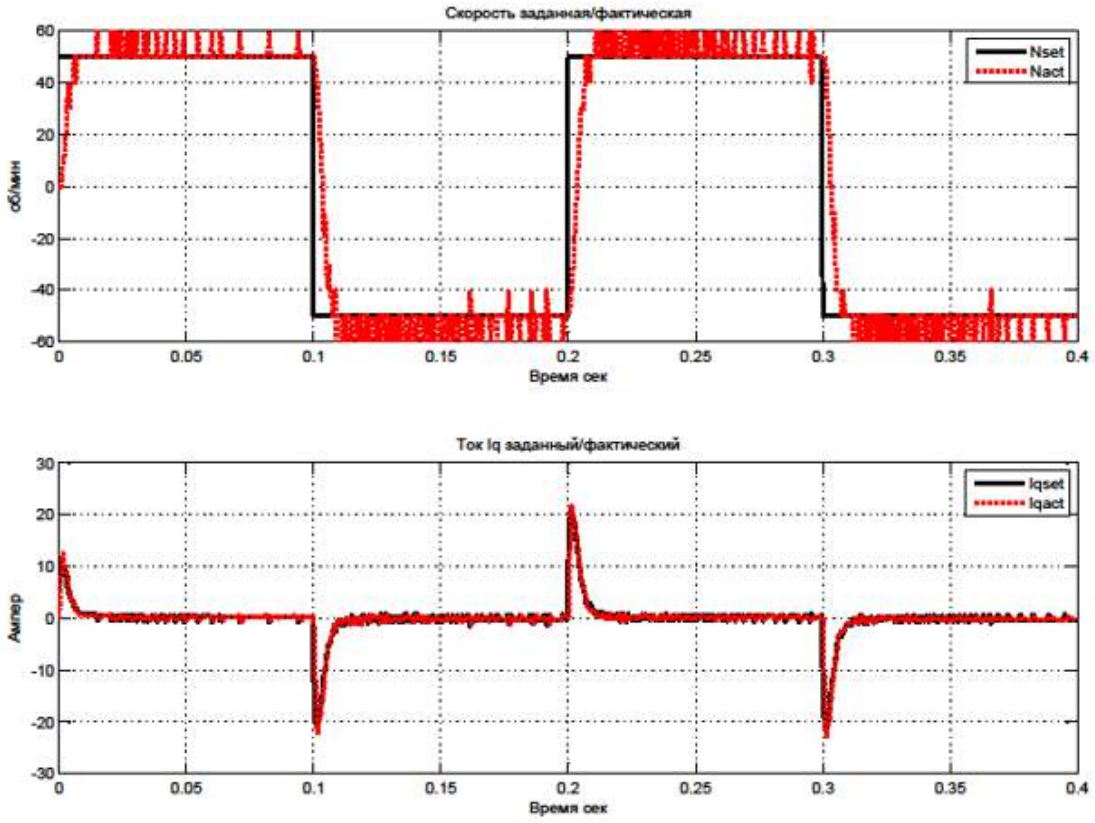


Рис. 3.26. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{k_i} = \mathbf{541}\boldsymbol{s}$

Таким образом, имеем следующие значения параметров ЭП:

$k_p = 500\ s^{-1}$ $k_i = 50ms$ $Fn = 1$ $F_n = 100\ Hz$ $Fnlev = 40\ rpm.$

Контролируемые данные:

• заданное значение скорости на входе регулятора скорости Nset PI, об/мин;

• актуальное значение скорости ЭД NactAF, об/мин;

• заданное значение на входе регулятора тока (Iq set AF), А;

• актуальное значение тока Iqact, А.

Заданное воздействие:

• ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости Nset, об/мин;

• величина скорости – 2,5% от номинального значения ЭД;

• период наброса заданного значения – 200 мсек;

• длительность заданного значения – 100 мсек;

• количество повторений – 10.

Период съема данных: 0,5 мсек.

Результат настройки:

• изменяя пропорциональный и интегральный коэффициент, добиться отсутствия перерегулирования скорости. Возможен небольшой колебательный процесс (не более 2-3 волн);

• контролировать отсутствие ограничения (насыщения) заданного значения на входе регулятора тока Iq set AF и тока Iqact. При необходимости - уменьшить амплитуду заданной скорости.

На рис 3.27 представлен ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{kp} = \mathbf{544}\ \boldsymbol{s}\mathbf{-1}\ \boldsymbol{ki} = \mathbf{541}\boldsymbol{s}\ \boldsymbol{Fn} = \mathbf{11}\ \boldsymbol{FnF} = \mathbf{144}\ \boldsymbol{Fnv} = \mathbf{44}\ \boldsymbol{rp}\mathbf{1}$.

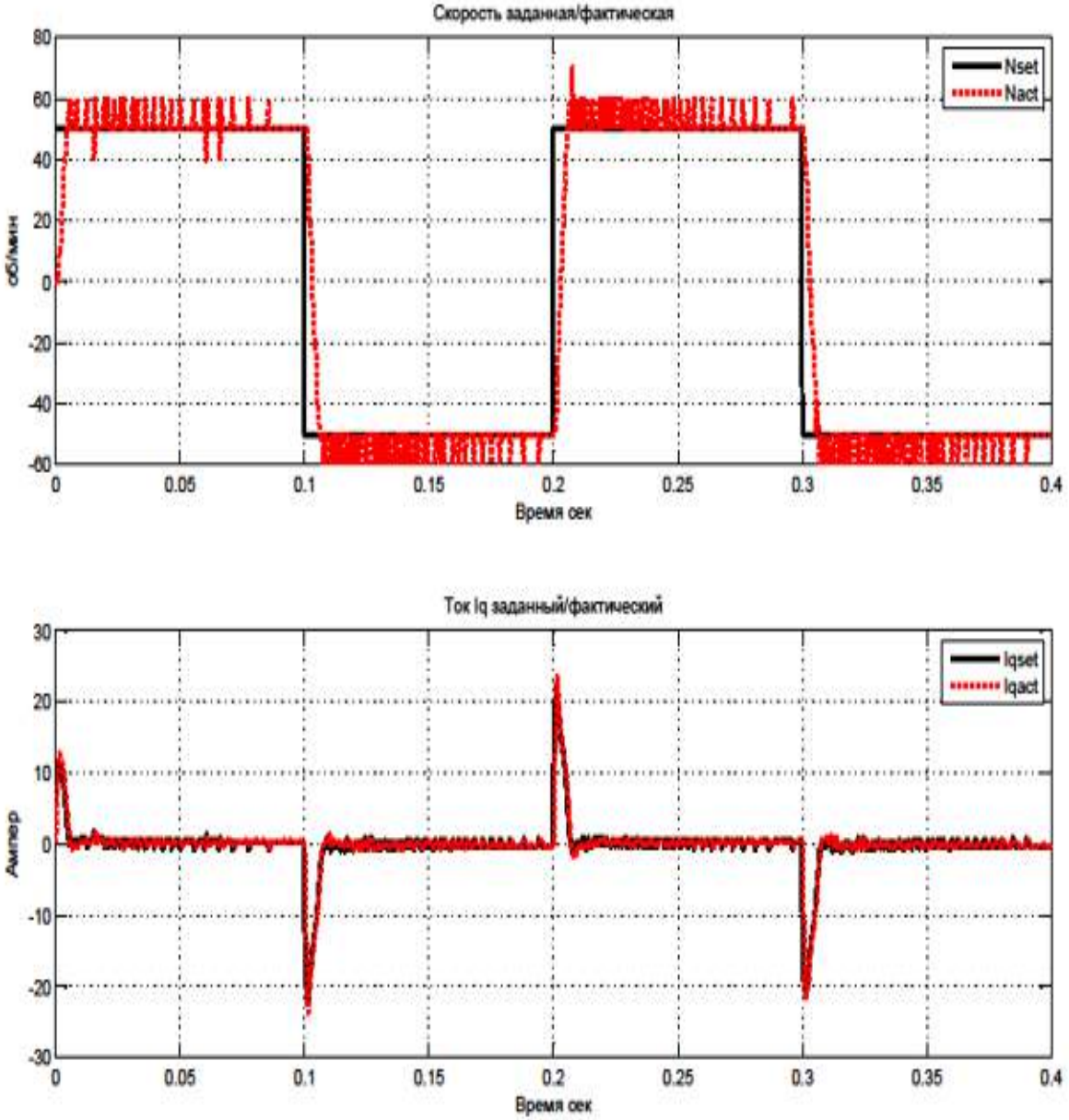


Рис. 3.27. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при $\boldsymbol{k_p}$ = **544** $\boldsymbol{s^{-1}}$ $\boldsymbol{k_i}$ = **541***s* $\boldsymbol{F_n}$ = **11** $\boldsymbol{F_{nF}}$ = **144** $\boldsymbol{F_{nv}}$ = **44** ***rp*1**

4-й шаг. Проверка токоограничения на выходе регулятора скорости.

Установить параметры, как и в 3-м шаге:

k_p = 500 s^{-1}, k_i = 50ms, F_n = 1 F_n = 100 Hz, $Fnlev$ = 40 rpm.

Проконтролировать установленные параметры регулятора тока по умолчанию:

• Iq_lim_cont - ограничение длительной команды тока (p300);

• Iq_lim_peak - ограничение максимальной команды тока (p301);

• T_lim_peak - время ограничения максимальной команды тока (p302);

• Mlim - максимальный момент ЭД (p206);

$Iq\_\text{lim}\ \_cont = 25A$; $Iq\_\text{lim}\ \_peak = 25A$; $T\_\text{lim}\ \_peak = 1s$, $Mlm = 125Nm$.

Контролируемые данные:

• заданное значение скорости на входе регулятора скорости NsetPI, об/мин;

• актуальное значение скорости ЭД NactAF, об/мин;

• выходное значение регулятора скорости (Mset), 0.01 Нм;

• заданное значение на входе регулятора тока (Iq set AF), А.

Заданное воздействие:

• ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости Nset, об/мин;

• величина скорости – 100% от максимальной скорости оси, пересчитанной в об/мин ЭД;

• период наброса заданного значения – 1000 мсек;

• длительность заданного значения – 500 мсек;

• количество повторений – 1.

Период съема данных: 1 мсек.

Результат настройки:

• контролировать время ограничения (насыщения) выходного значения регулятора скорости (Mset) и заданного значения на входе регулятора тока Iq set AF. Для станков с моментом инерции нагрузки, приведенной к валу ЭД, равной 2-5 момента инерции ЭД это время составляет 400-800 мсек. Если момент инерции нагрузки имеет большую величину, необходимо увеличить параметр T_lim_peak;

• величина ограничения момента (Mset) должна бать равна M_lllm, а ограничения тока Iq set AF - $Iq\_\text{lim}\ \_cont * \sqrt{2}$.

Ниже (рис. 3.28) приведены графики при вышеуказанных параметрах.

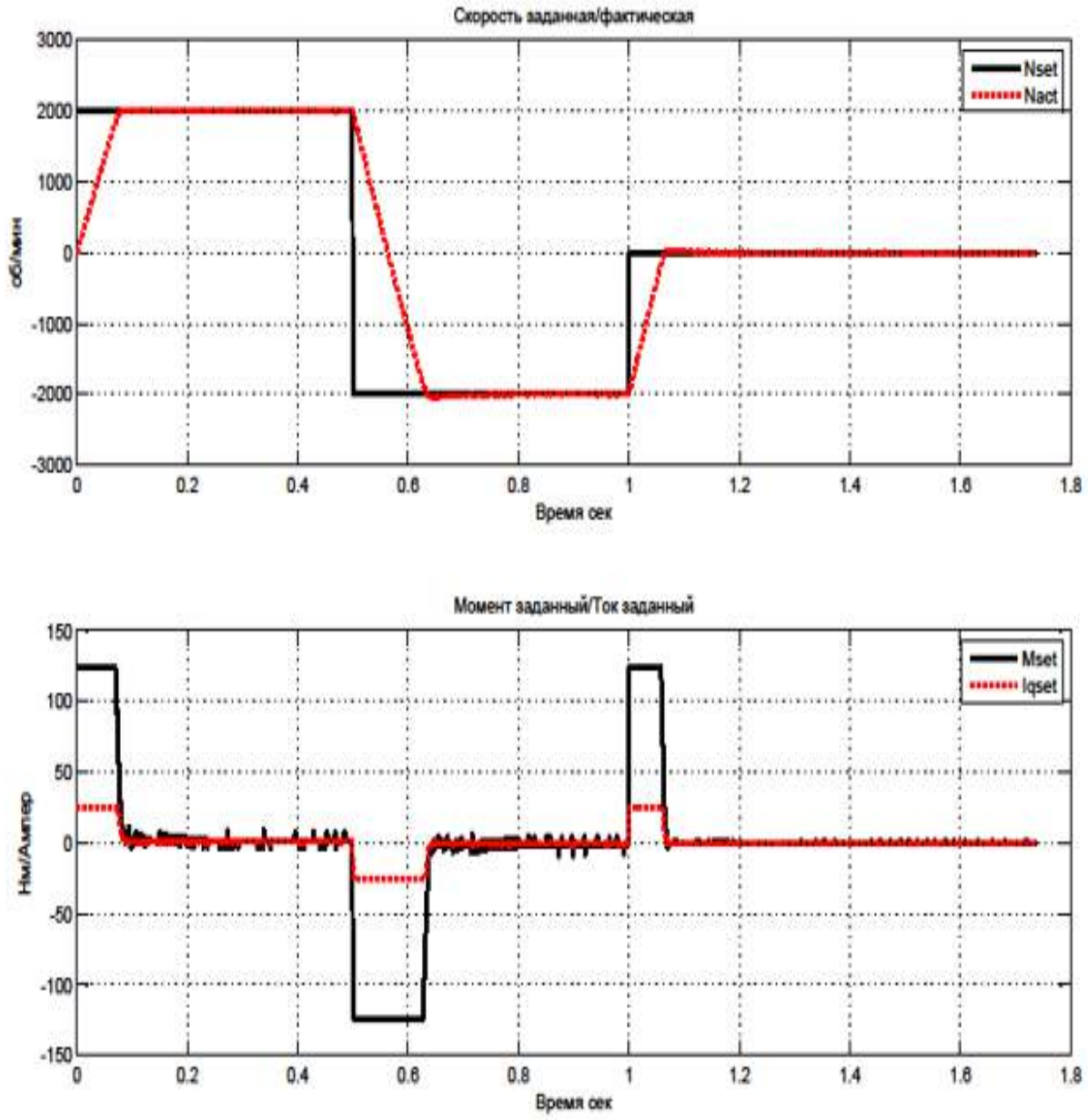


Рис. 3.28. Ступенчатый наброс заданной скорости на входе регулятора скорости NsetPI при проверке токоограничения на выходе регулятора скорости

Окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ

После изменения параметров по умолчанию необходимо ещё раз снять ЛАЧХ и ЛФЧХ.

Ниже приведены графики при параметрах регулятора тока:

• k_p = 500 s^{-1} k_{ii} = 50ms F_n = 1 F_{nbnn} = 100 Hz F_{nlev} = 40 rpm.

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ, F = 95 Гц и запас по фазе на этой частоте равен 180˚-115˚=65˚.

На рис. 3.29 показана окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора скорости.

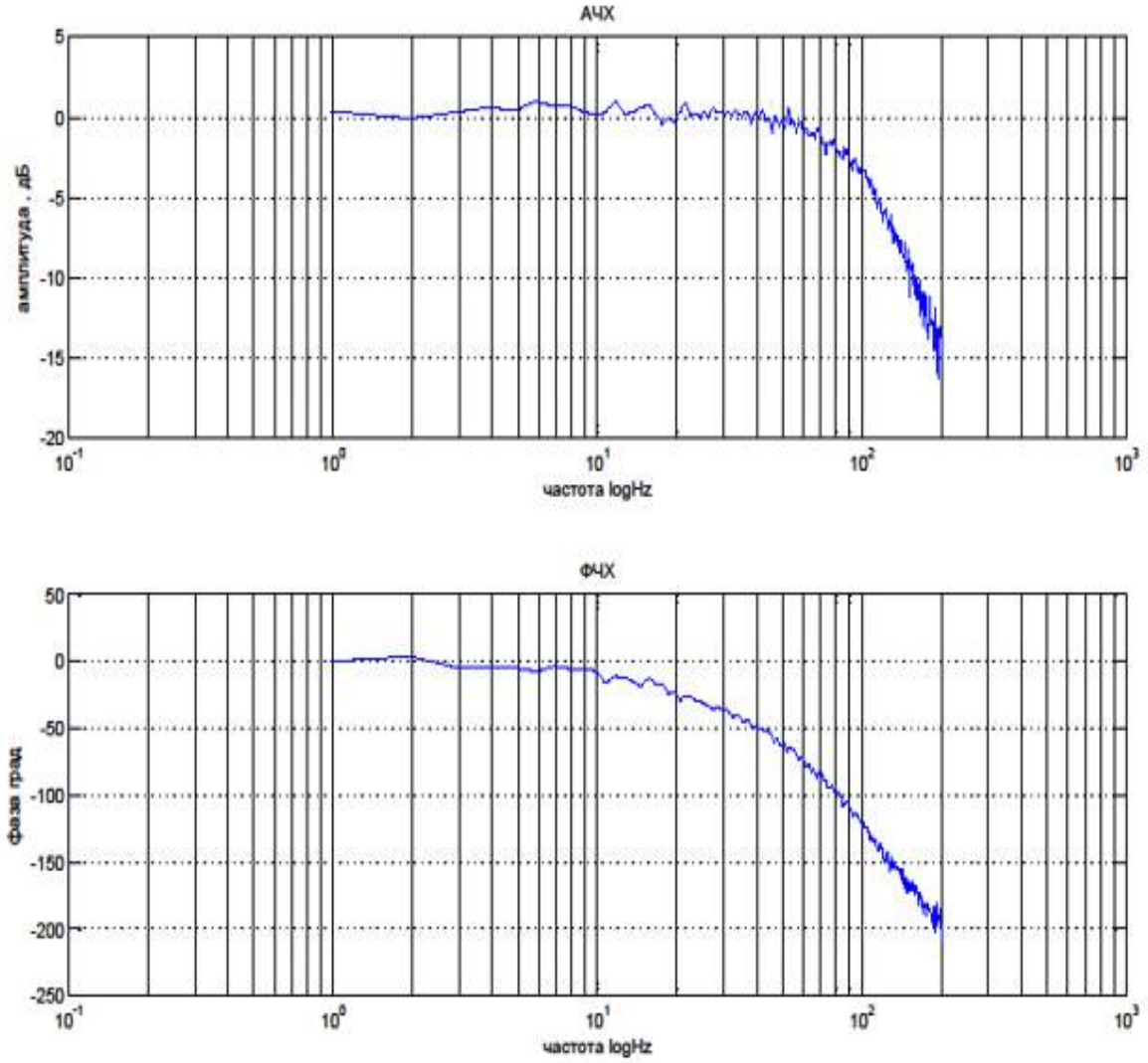


Рис. 3.29. Окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора скорости

Настройка регулятора положения ЭП

Регулятор положения ЭП может быть использоваться, например, в случае, если в качестве ЧПУ используется NC-202/220/302 ф. Балт-Систем с цифро-импульсным преобразователем (ЦИП).

При значении 3-го параметра в инструкции CAS=1, параметр p505=1, а при значении 3-го параметра в инструкции CAS=2, параметр p505=2.

Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ

Установить параметры регулятора положения по умолчанию:

• K_v – пропорциональный коэффициент (p502);

• K_i – интегральный коэффициент (p503);

• K_{ffw} - Коэффициент предуправления (p504).

k_v = 30 s^{-1},k_i = 0ms, k_{fn} = 100%.

Контролируемые данные:

• заданное значение входе регулятора положения (CNTSsetPI), cnts/ms;

• актуальное значение положения (CNTSact), cnts/ms;

• актуальное значение тока Iqact, A.

Заданное воздействие:

• заданное значение на регуляторе положения в виде Чирп-сигнала (CNTSset), cnts/ms;

• частота 0-250 Гц;

• амплитуда – 2,5% от номинального значения скорости ЭД.

Время измерения:

• зависит от длины Чирп-сигнала (при длине 2048 точки получаем 2048 мсек);

• период съема данных 1 ms.

Результат настройки:

• контролировать актуальное значение тока Iqact, чтобы он не превышал максимального значения тока ЭД;

• после преобразования Фурье контролируемых данных получаем ЛАЧХ и ЛФЧХ. Определяем полосу пропускания регулятора по уровню -3дБ и запас по фазе на этой частоте.

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ, F = 100 Гц и запас по фазе на этой частоте равен 180˚-140˚=40˚.

Обращаем внимание на то, что имеется подъем ЛАЧХ на +1,7дБ в диапазоне частот 1-40 Гц.

На рис.3.30. изображена предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора положения ЭП. Предварительная настройка Kv-фактора без предуправления.

Установить параметры регулятора положения:

• Kv – пропорциональный коэффициент (p502);

• Ki – интегральный коэффициент (p503);

• Kffw - Коэффициент предуправления (p504);

k_v = 30 s^{-1},k_i = 0ms, k_{fn} = 0%.

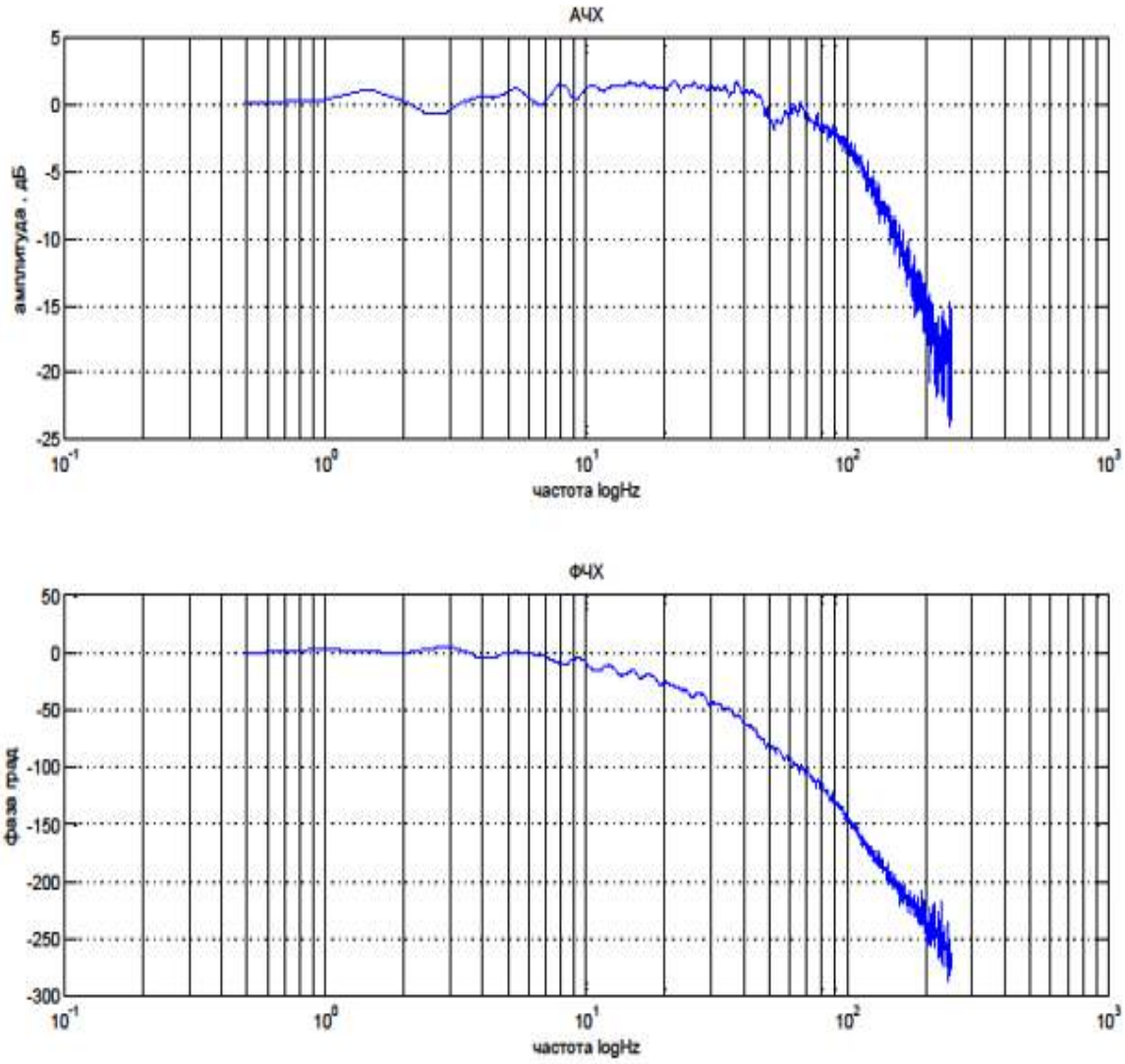


Рис. 3.30. Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора положения ЭП

Контролируемые данные:

- заданное значение на регуляторе положения (CNTSsetPI), cnts/ms;
- актуальное значение положения (CNTSact), cnts/ms;
- Рассогласование по положению (FE), cnts;
- актуальное значение тока Iqact, A.

Заданное воздействие:

- ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset), cnts/ms;
- амплитуда – 5% от номинального значения скорости ЭД;
- период наброса заданного значения – 500 мсек;
- длительность заданного значения – 250 мсек;
- количество повторений – 1.

Время измерения:

- период съема данных 1 ms.

Результат настройки:

- увеличивая Kv-фактор, добиться минимального времени переходного процесса без перерегулирования;
- контролировать актуальное значение тока Iqact, чтобы он не превышал номинального значения тока ЭД.

Ниже приведены графики при:

k_v = 30 s^{-1}, k_v = 100s^{-1} , k_v = 133s^{-1}. Выбираем k_v = 100s^{-1}.

На рис. 3.31 представлен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{kv}$ = $\mathbf{34\ s^{-1}}$. На рис. 3.32 изображен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{kv}$ = $\mathbf{144\ s^{-1}}$. На рис. 3.33 показал ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{kv}$ = $\mathbf{133\ s^{-1}}$.

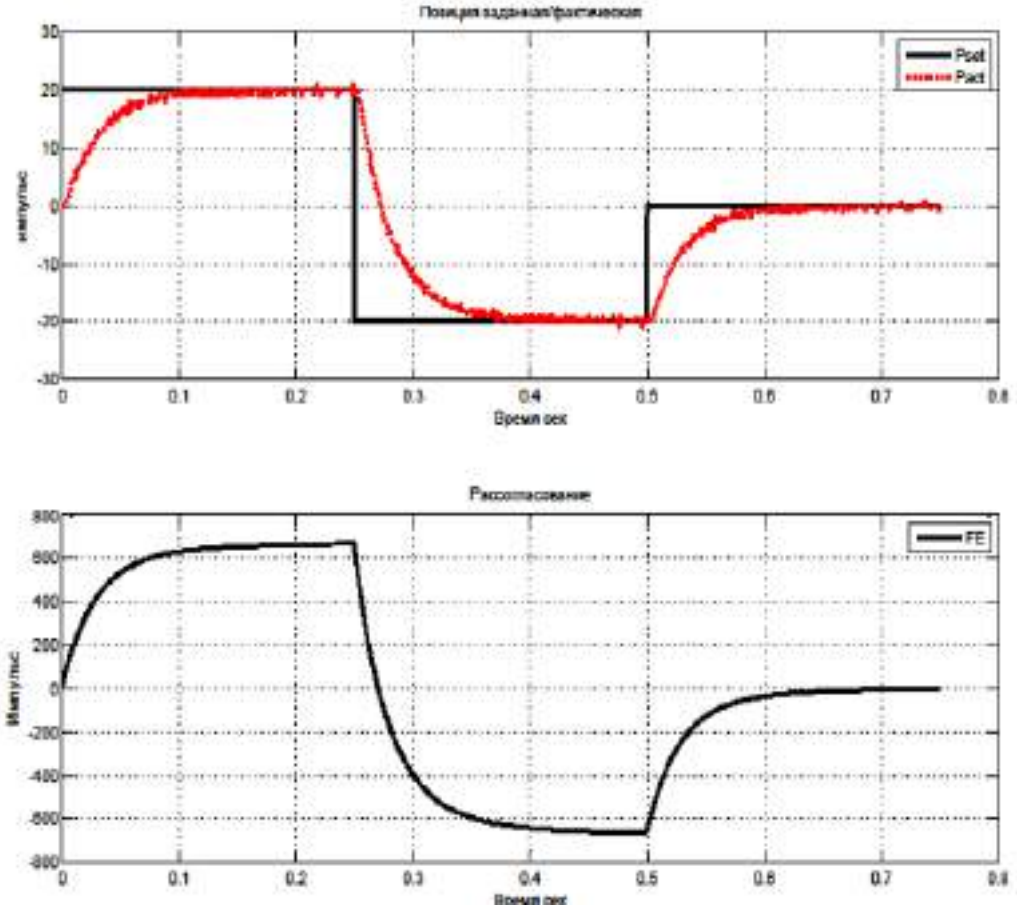


Рис. 3.31. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{k_v}$ = $\mathbf{34\ s^{-1}}$

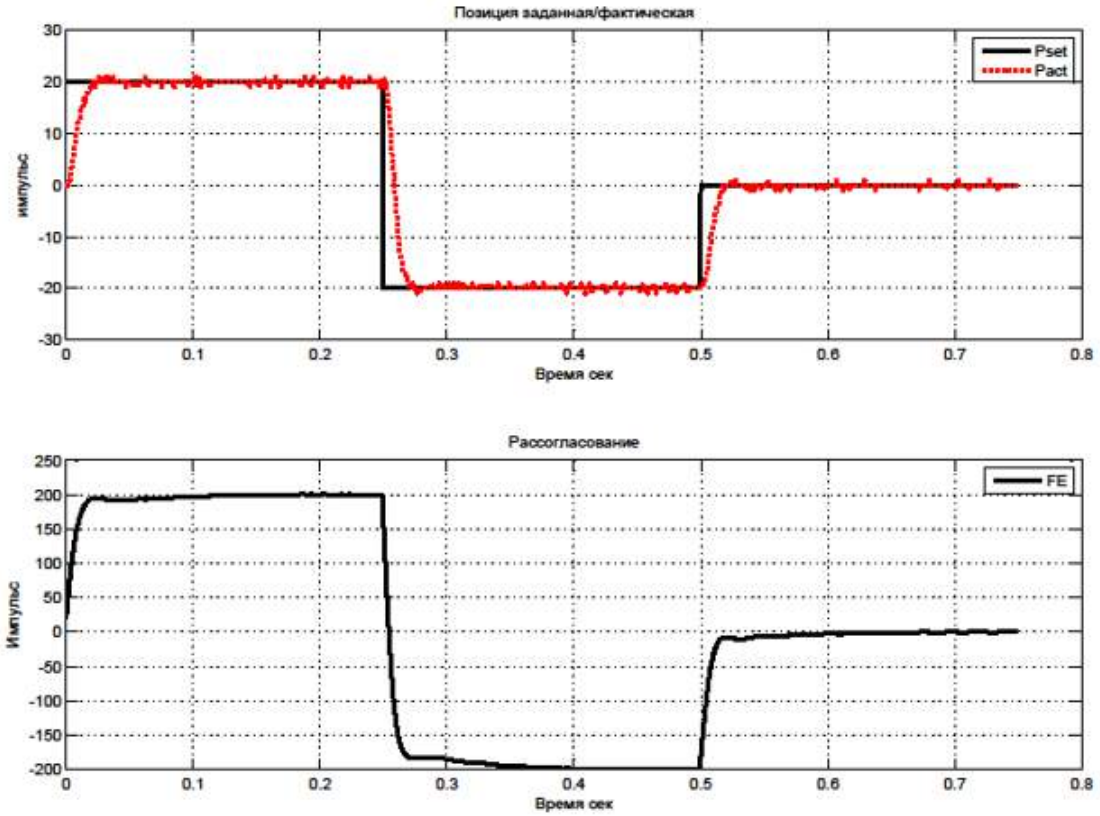


Рис. 3.32. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{k_v}$ = $\mathbf{144\ s^{-1}}$

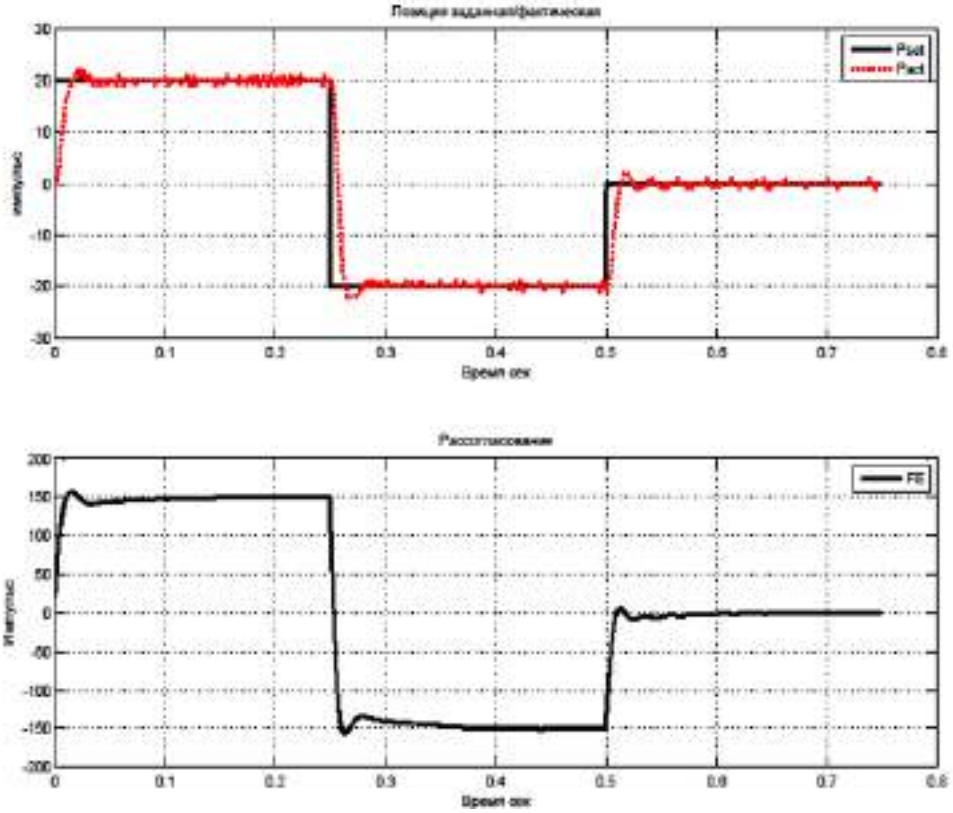


Рис. 3.33. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{k_v}$ = $\mathbf{133\ s^{-1}}$

Установить Kv-фактор=0.

Контролируемые данные:

• заданное значение на регуляторе положения (CNTSsetPI), cnts/ms;

• актуальное значение положения (CNTSact), cnts/ms;

• рассогласование по положению (FE), cnts;

• актуальное значение тока Iqact, A.

Заданное воздействие:

• ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset).

cnts/ms:

• амплитуда – 5% от номинального значения скорости ЭД;

• период наброса заданного значения – 500 мсек;

• длительность заданного значения – 250 мсек;

• количество повторений – 1.

Время измерения:

• период съема данных 1 ms.

Результат настройки:

• увеличивая Kffw, добиться отсутствия перерегулирования при выходе в заданную позицию.

Ниже приведены графики при k_{fn} = 100 %, k_{fn} = 60 %.

Выбираем k_{fn} = 60 %.

На рис. 3.34 представлен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{kfF}$ = **14** %. На рис.3.35. изображен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{kfF}$ = **64** %.

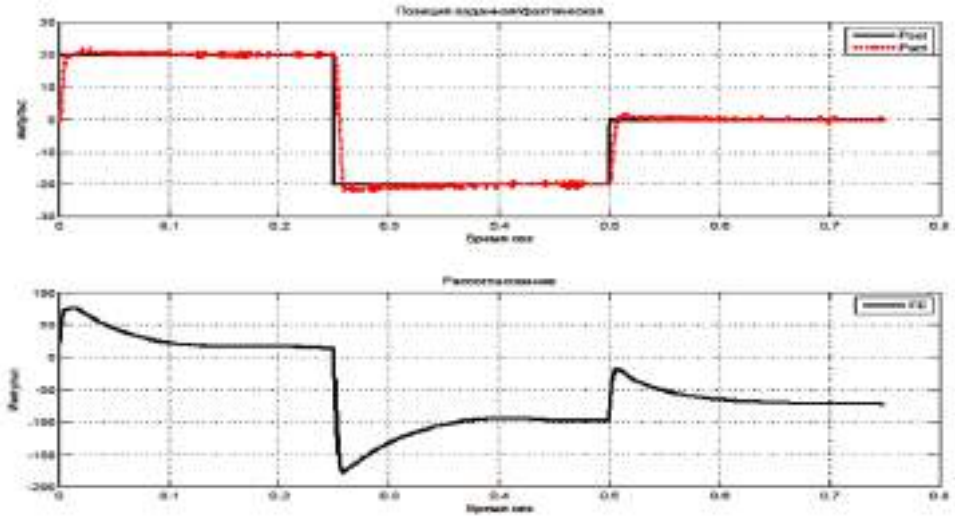


Рис. 3.34. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{k_{fF}}$ = **14** %

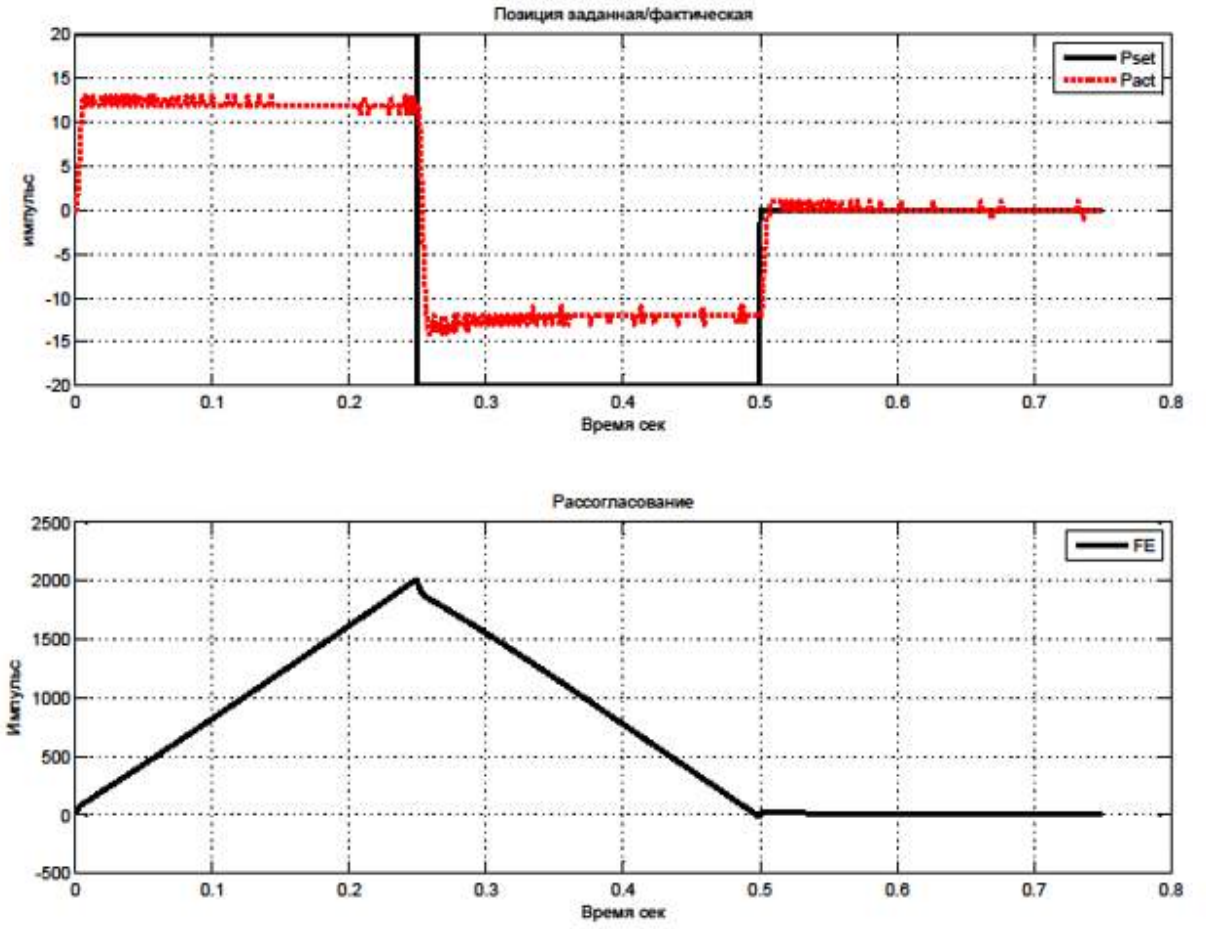


Рис. 3.35. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{k_{fF}}$ = **64** %

Настройка Kv-фактора с предуправлением

Установить Kv-фактор, определённый в п.2.4.2. и Kffw в п.2.4.3:

k_v = 100 s^{-1} k_{fn} = 60%

Контролируемые данные:

- заданное значение на регуляторе положения (CNTSsetPI), cnts/ms
- актуальное значение положения (CNTSact), cnts/ms
- Рассогласование по положению (FE), cnts
- актуальное значение тока Iqact, A

Заданное воздействие:

- ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset), cnts/ms

- амплитуда – 5% от номинального значения скорости ЭД
- период наброса заданного значения – 500 мсек
- длительность заданного значения – 250 мсек
- количество повторений - 1

Время измерения:

- период съема данных 1 ms

Результат настройки:

- изменяя Kfw, добиться отсутствия перерегулирования при выходе в заданную позицию.

Ниже приведены графики при:

k_v = 100 s^{-1} k_{fn} = 60% и k_v = 100 s^{-1} k_{fn} = 40%

Выбираем

k_v = 100 s^{-1} k_{fn} = 40%

На рис.3.36 изображен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{k_v = 144\ s^{-1}}$ $\boldsymbol{k_F = 64}$%. На рис. 3.37 представлен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{k_v = 144\ s^{-1}}$ $\boldsymbol{k_{fF} = 44}$%.

Окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ.

После изменения параметров по умолчанию необходимо ещё раз снять ЛАЧХ и ЛФЧХ.

Ниже приведены графики при параметрах регулятора положения:

k_v = 100 s^{-1} k_{fn} = 40%

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ F= 60 Гц и запас по фазе на этой частоте равен 180˚-110˚=70˚.

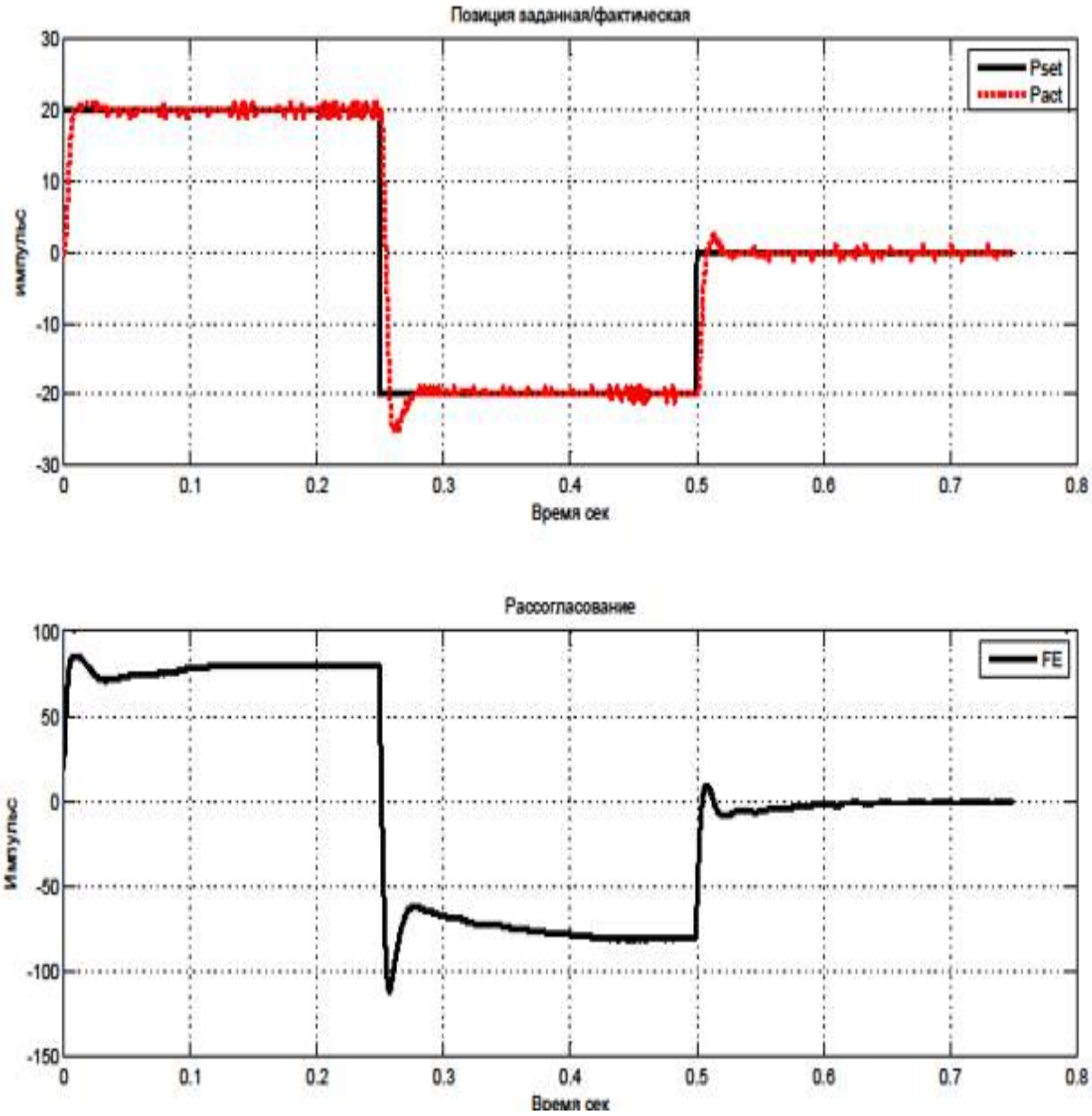


Рис. 3.36. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{k_v} = \mathbf{144}\ \boldsymbol{s^{-1}}$ $\boldsymbol{k_F} = \mathbf{64}\%$

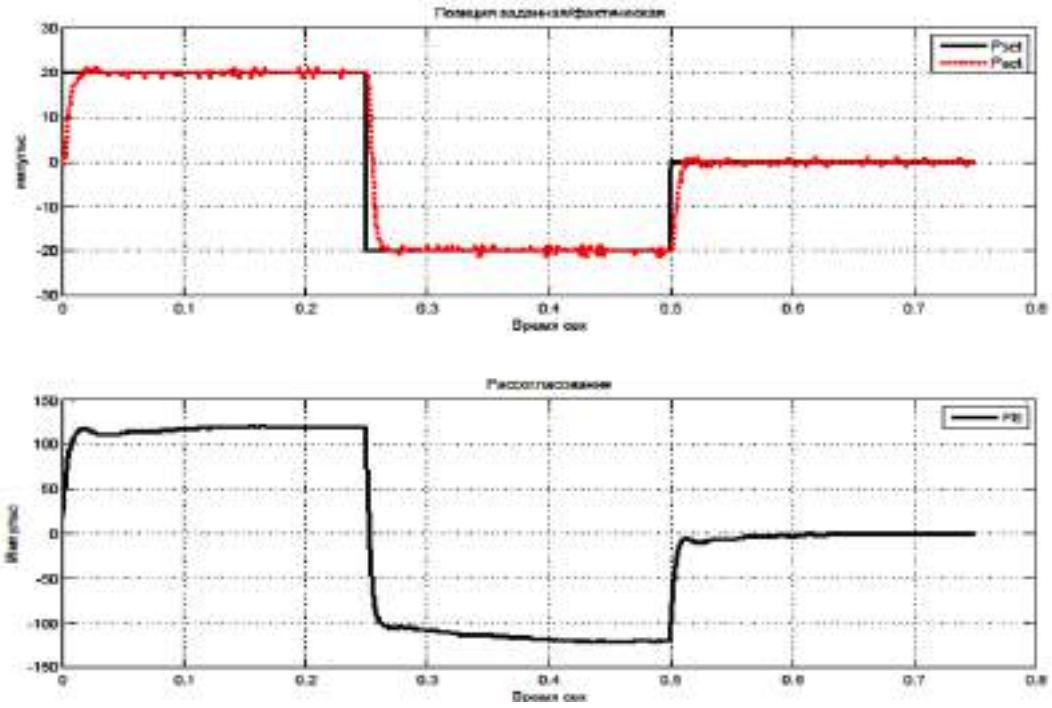


Рис. 3.37. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения (CNTSset) при $\boldsymbol{k_v}$ = $\mathbf{144}\ \boldsymbol{s^{-1}}$ $\boldsymbol{k_{fF}}$ = $\mathbf{44}$%

На рис.3.38 представлена окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора положения ЭП.

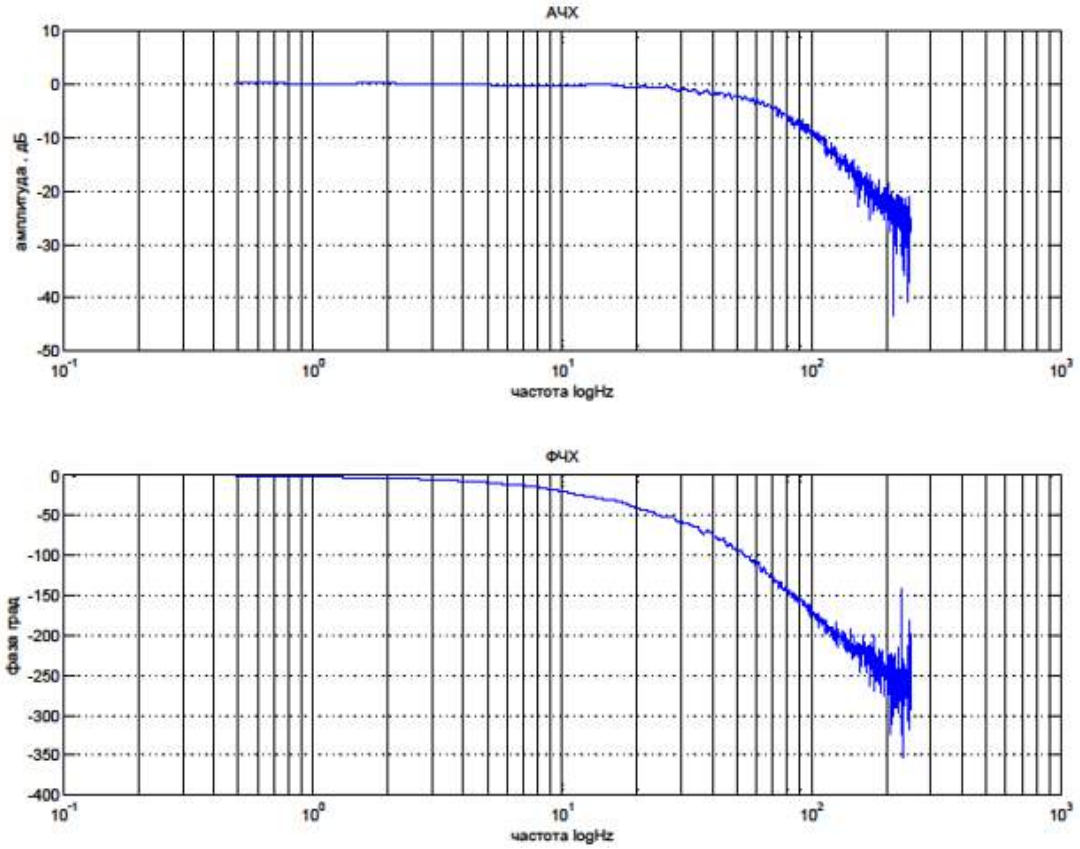


Рис. 3.38. Окончательная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора положения ЭП

3.4.3. Настройка регулятора положения при работе от ЧПУ

Предполагается, что в качестве ЧПУ используется NC-XXX ф. Балт-Систем и аналоговым заданием на ЭП. Таким образом, в самом начале необходимо произвести балансировку ЭП и ЧПУ (устранить рассогласование в следящем режиме ЭП при отсутствии задания на движение – параметр ЭП "p58 Смещение аналогового задания").

Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ

Установить параметры регулятора положения по умолчанию:

- K_v – пропорциональный коэффициент (3-й параметр в инструкции GM0 = xx);
- K_i – интегральный коэффициент (8-й параметр в инструкции FRC= xx);
- K_{fw} - Коэффициент предуправления (7-й параметр в инструкции FRC=xx).

k_v = 16.667 s^{-1} k_i = 0ms k_{fn} = 0

Контролируемые данные:

- заданное значение входе регулятора положения, имп;
- актуальное значение положения, имп;
- актуальное значение тока Iqact, А.

Заданное воздействие:

- заданное значение на регуляторе положения в виде Чирп-сигнала, имп;
- частота 0-100 Гц;
- амплитуда – 2,5% от максимального значения рассогласования.

Время измерения:

- зависит от длины Чирп-сигнала (при длине 2048 точки получаем 4096 мсек);
- период съема данных 2 ms (1 tick).

Результат настройки:

- контролировать актуальное значение тока Iqact, чтобы он не превышал максимального значения тока ЭД;
- после преобразования Фурье контролируемых данных получаем ЛАЧХ и ЛФЧХ. Определяем полосу пропускания регулятора по уровню -3дБ и запас по фазе на этой частоте.

Получаем: полоса пропускания регулятора по уровню -3дБ F = 2,7 Гц и запас по фазе на этой частоте равен 180˚-56˚=124˚.

Частота, на которой фаза равна -180˚, равна 25 Гц и запас по амплитуде на этой частоте 18 дБ.

На рис 3.39 изображена предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора положения ЧПУ.

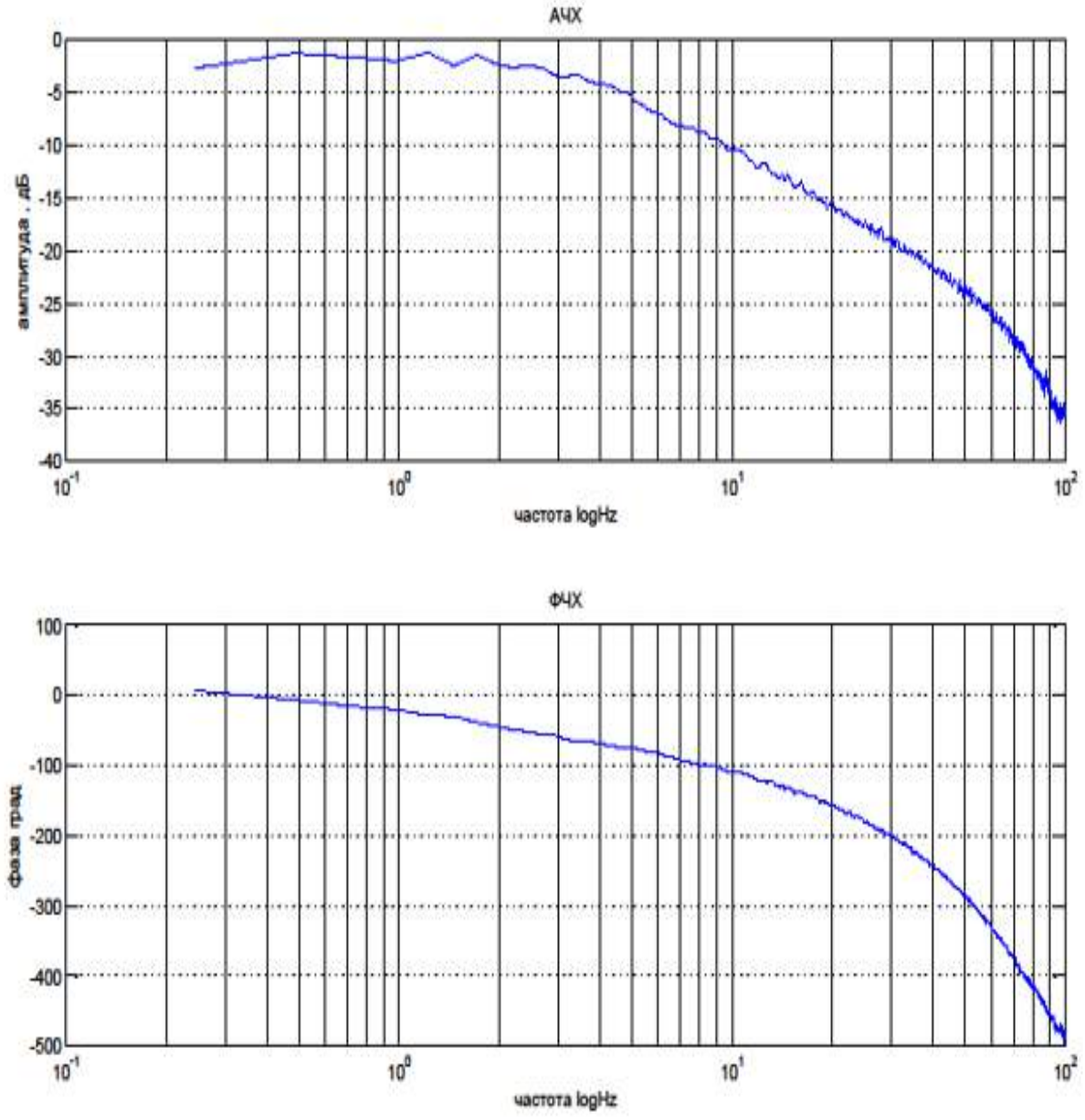


Рис. 3.39. Предварительная ЛАЧХ и ЛФЧХ регулятора положения ЧПУ

Предварительная настройка Kv-фактора без предупреждения

Установить параметры регулятора положения по умолчанию:

- K_v – пропорциональный коэффициент (3-й параметр в инструкции GM0 = xx);
- K_i – интегральный коэффициент (8-й параметр в инструкции FRC = xx);
- Kffw - Коэффициент предупреждения (7-й параметр в инструкции FRC = xx).

k_v = 16.667 s^{-1} $k_i = 0ms$ k_{fn} = 0 (UEP = 1)

Контролируемые данные:

- заданное значение входе регулятора положения, имп;
- актуальное значение положения, имп;
- рассогласование, имп.

Заданное воздействие:

- ступенчатый наброс заданного положения, имп;
- амплитуда заданного положения 2,5% от максимального значения рассогласования;
- длительность заданного положения 250 мсек.

Время измерения:

- 500 мсек

Результат настройки:

- увеличивая Kv-фактор, добиться минимального времени переходного процесса без колебаний.

Ниже приведены графики при:

k_v = 16.667 s^{-1} $k_v = 50s^{-1}$ $k_v = 66.667s^{-1}$

Выбираем $k_v = 50s^{-1}$

На рис. 3.40. изображен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v = 16.66\ s^{-1}}$.

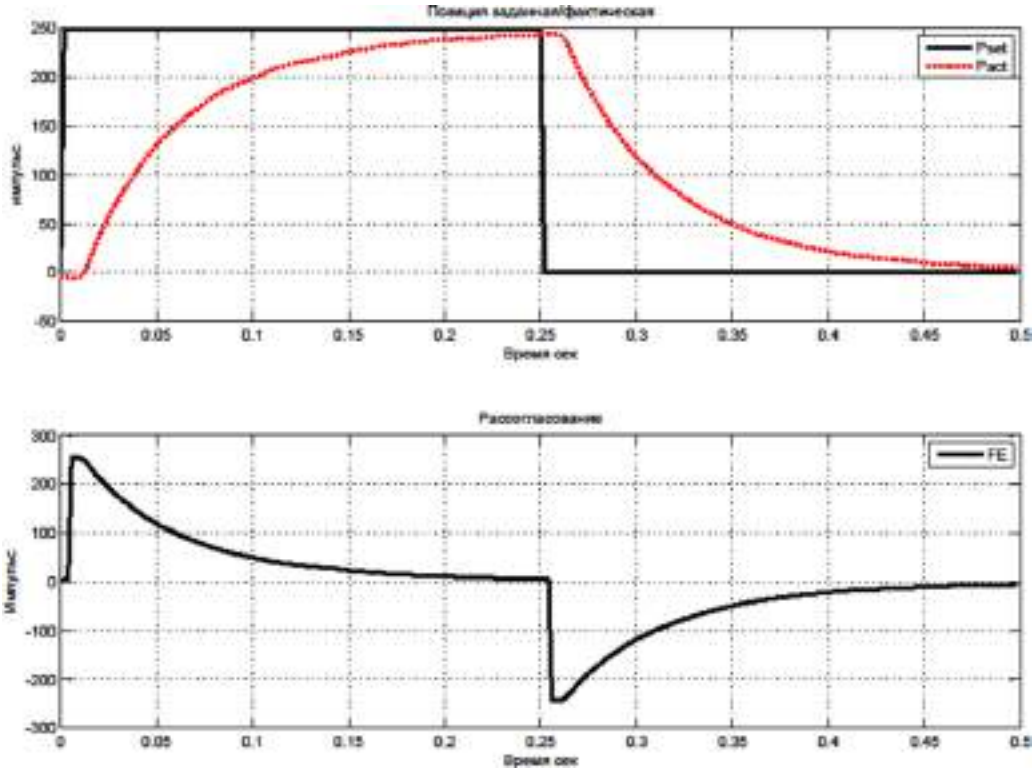


Рис. 3.40. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v}$ = **16.66**6 $\boldsymbol{s^{-1}}$

На рис. 3.41 представлен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v = 16.666\ s^{-1}}$.

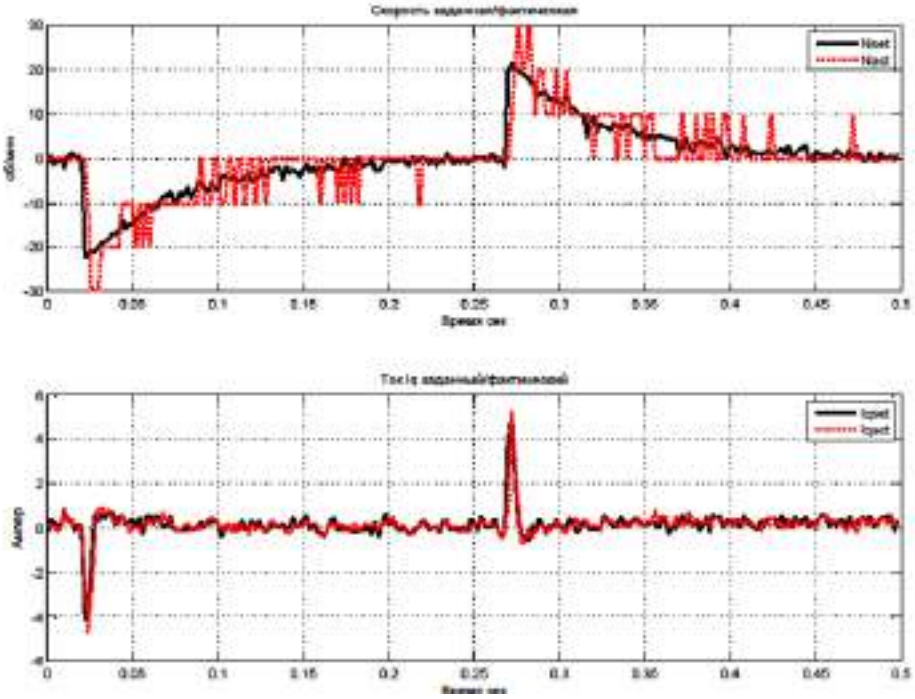


Рис. 3.41. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v}$ = **16.666** $\boldsymbol{s^{-1}}$

На рис. 3.42 показан ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v} = \mathbf{54.44}\ \boldsymbol{s^{-1}}$.

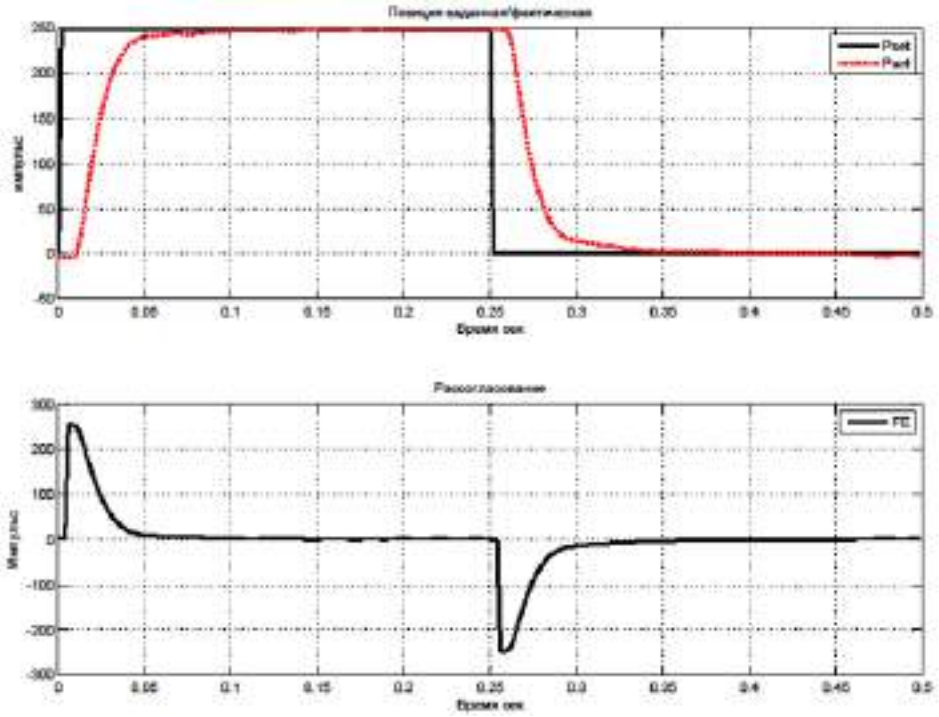


Рис. 3.42. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v} = \mathbf{54.44}\ \boldsymbol{s^{-1}}$

На рис. 3.43 изображен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v} = \mathbf{54.44}\ \boldsymbol{s^{-1}}$.

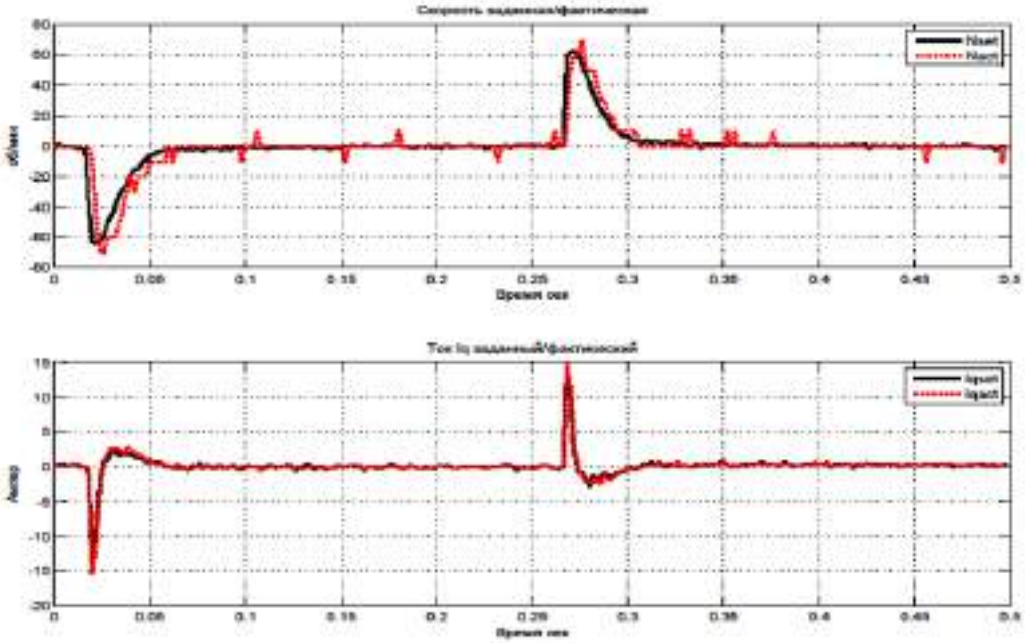


Рис. 3.43. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v} = \mathbf{54.44}\ \boldsymbol{s^{-1}}$

На рис. 3.44 представлен ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v = 66.66\ s^{-1}}$.

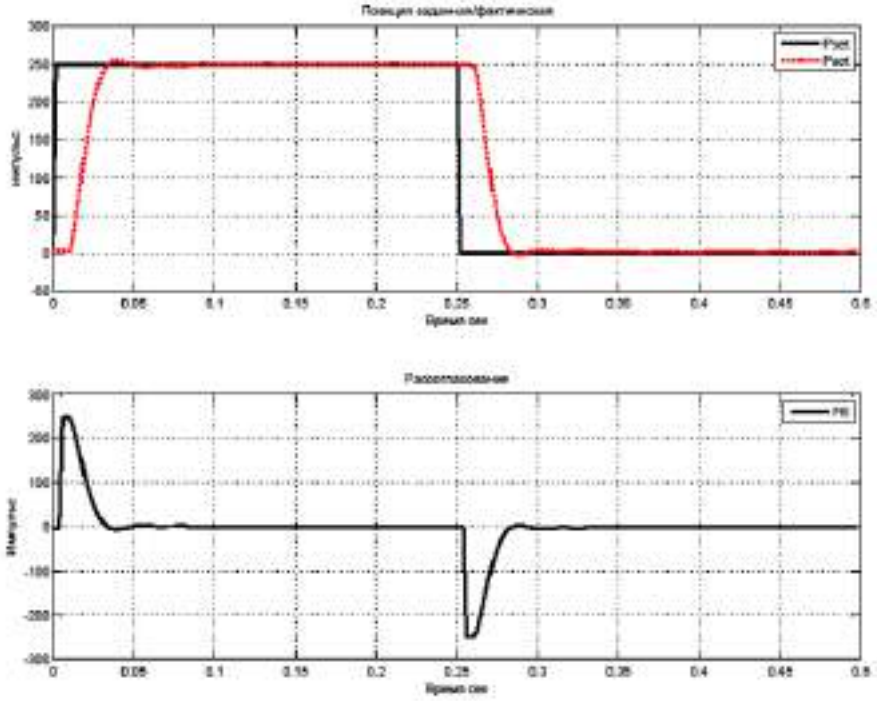


Рис. 3.44. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v = 66.66\ s^{-}}$

На рис. 3.45. показан ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v = 66.666\ s^{-1}}$.

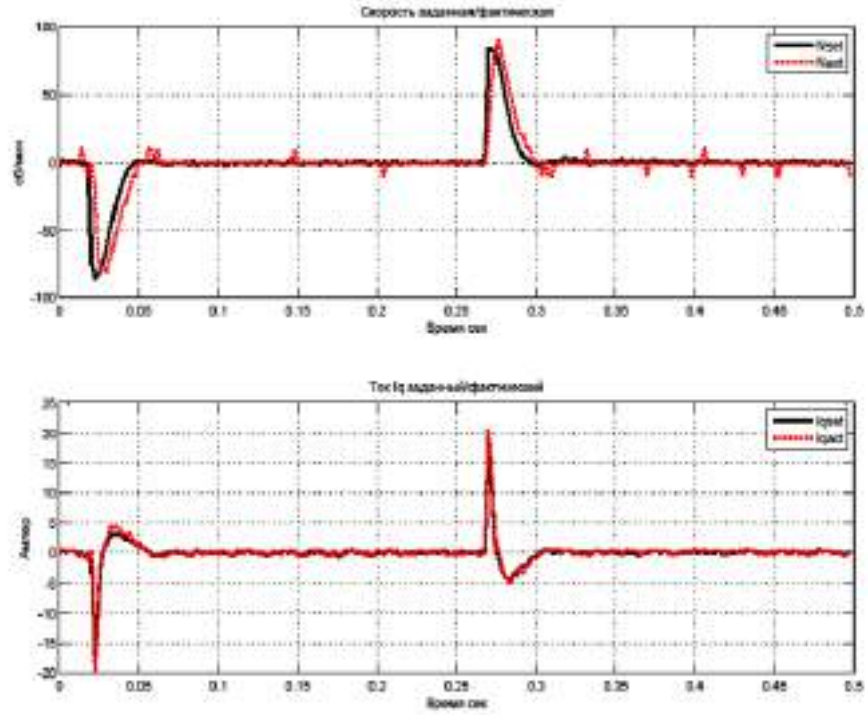


Рис. 3.45. Ступенчатый наброс заданного положения на входе регулятора положения при $\boldsymbol{k_v = 66.666\ s^{-1}}$

Определение максимального ускорения при настройке S-образной характеристики

Активизируем инструкцию ACC=1,05 в секции 1 файла AXCFIL. Устанавливаем параметры:

- Kv – Kv – фактор;
- K_{fw} - коэффициент предуправления;
- A – ускорение на рабочей подаче (по умолчанию).

k_v = 50.0 s^{-1} k_{fn} = 1 A = 1000 $mm * s^{-2}$

Контролируемые данные:

- заданное значение входе регулятора положения, имп;
- актуальное значение положения, имп;
- рассогласование, имп;
- актуальное значение тока Iqact, A.

Заданное воздействие:

- наброс заданного положения по S-образной характеристике, имп;
- величина заданного положения – достаточная для достижения заданной скорости;
- заданная скорость – максимальная скорость подачи (может быть меньше скорости ускоренного хода).

Время измерения:

- 1-3 сек

Результат настройки:

- увеличивая ускорение, добиться достижения актуального значения тока Iqact максимального значения (ограничения), равного полученному в шаге 4 п.2.3.2 (Iq_lim_cont).

Ниже приведены графики при: A = 1000 $mm * s{-}2$ A = 4400 $mm * s{-}2$. Таким образом, максимальное ускорение равно A = 4400 $mm * s{-}2$

На рис.3.46. представлен наброс заданного положения по S-образной характеристике при $\boldsymbol{A = 144\ 11 * s^{-2}}$.

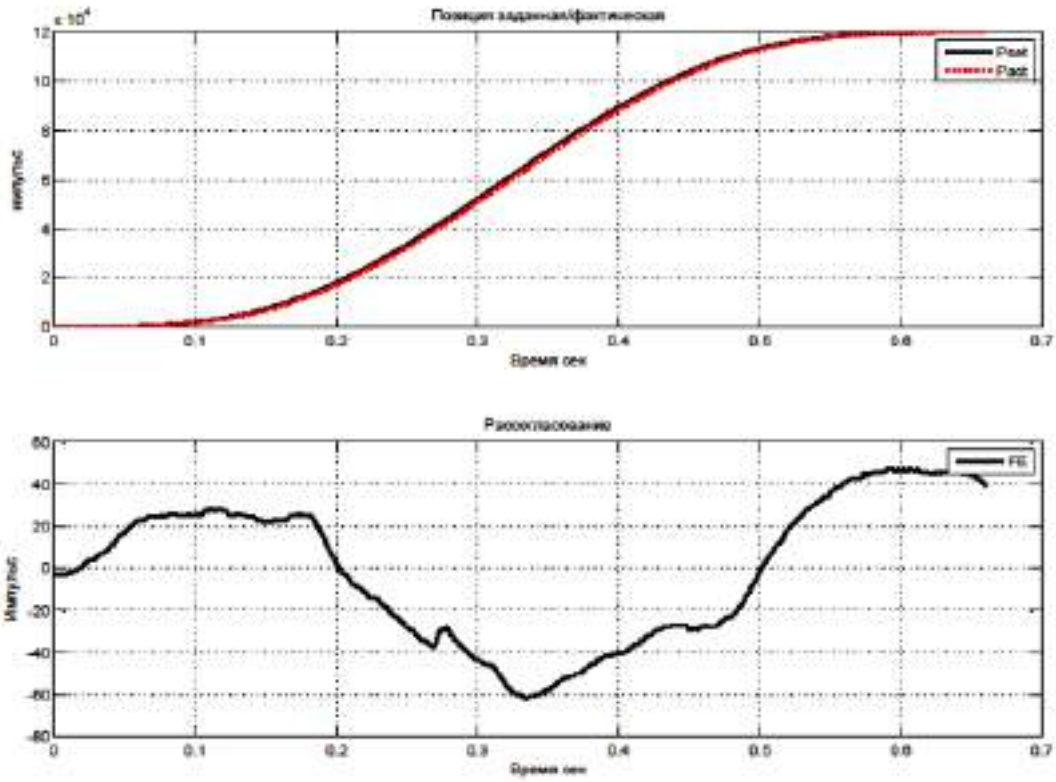


Рис. 3.46. Наброс заданного положения по S-образной характеристике при $\boldsymbol{A = 144\ 11 * s^{-2}}$

На рис. 3.47. изображен наброс заданного положения по S-образной характеристике при $\boldsymbol{A = 444\ 11 * s^{-2}}$.

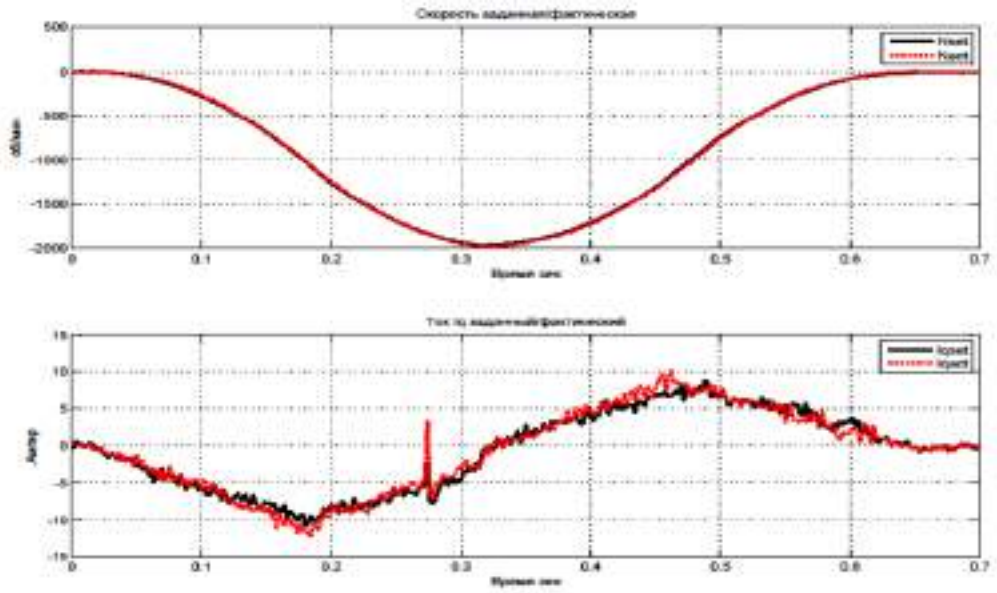


Рис. 3.47. Наброс заданного положения по S-образной характеристике при $\boldsymbol{A = 444\ 11 * s^{-2}}$

На рис.3.48. показан наброс заданного положения по S-образной характеристике при $\boldsymbol{A = 444\ 11 * s^{-2}}$.

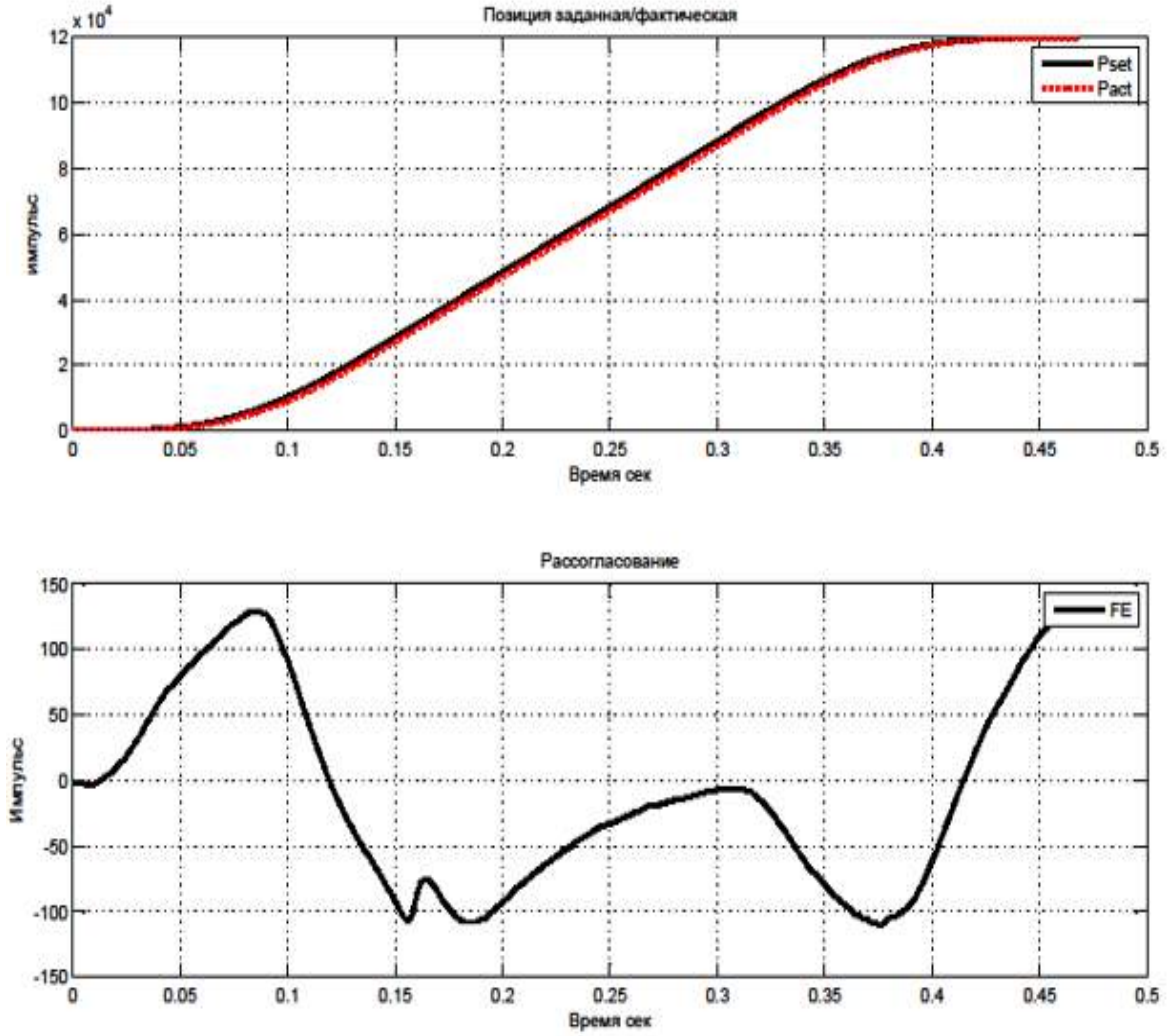


Рис. 3.48. Наброс заданного положения по S-образной характеристике при $\boldsymbol{A = 444\ 11 * s^{-2}}$

3.5. Наладка мехатронной системы металлорежущих станков

Наладка современных металлорежущих станков с ЧПУ как мехатронной системы является одним из ответственных этапов их эксплуатации. Правильная наладка способствует повышению производительности труда, качества продукции и сохранению долговечности оборудования. Наладка станка с ЧПУ включает в себя подготовку режущего инструмента и технологической оснастки, размещение рабочих органов станка в исходном положении, пробную обработки первой

детали, внесение корректив в положение инструмента и режим обработки, исправление погрешностей и недочетов в управляющей программе. Важным этапом наладки является базирование и закрепление заготовок. При определении схемы базирования крайне важно знать конструктивные особенности налаживаемого оборудования в частности элементов, обеспечивающих базирование приспособления или заготовки. Для токарных станков с ЧПУ выбор схемы базирования сводится к выбору используемого приспособления для закрепления заготовок (различные зажимные патроны), а также к выбору наладочных элементов выбранного приспособления (к примеру, обычные или сырые кулачки). Важно заметить, что для станков сверлильно-фрезерно-расточной группы возможны различные схемы базирования:

- непосредственно на столе станка с ЧПУ;
- в приспособлении, которое установлено на столе станка;
- в приспособлении, установленном на координатной плите;
- непосредственно на координатной плите.

Непосредственно на столе станка устанавливают заготовку, имеющую большие размеры, хорошую опорную поверхность и удобные поверхности для закрепления. Вместе с тем, объём выпуска должен быть сравнительно небольшим, а трудоемкость обработки сравнительно высокой (к примеру, обработка малых партий корпусных деталей на фрезерных и многоцелевых станках при высокой концентрации операций). При этом процент времени, затрачиваемого на установку будет незначительным. В случае если деталь имеет небольшие размеры, отсутствуют удобные поверхности для закрепления, повышается объём выпуска, сокращается концентрация операций и как следствие возникает крайне важность сокращения времени на переустановку заготовок, то целесообразно применять приспособления. При этом приспособление должна быть установлено на столе станка или на координатной плите. Координатная плита позволяет повысить точность установки приспособления и его быстросменность. Существует несколько вариантов расположения приспособлений на станках с ЧПУ.

- Приспособление может занять единственно возможное положение. В этом случае не требуется его выверять. Пример – крепление токарного патрона к шпинделю станка, установка вращающегося центра в пиноль задней бабки.

- Произвольное расположение приспособления вдоль осей координат, допускаемое управляющей программой. Характерно для фрезерных, сверлильных и расточных станков в том случае если обработка ведется с одной стороны. Приспособление должно бать выверено в угловом направлении относительно линейных координат.

- Приспособление должно занять относительно рабочих органов единственно допустимое управляющей программой положение. Примером является наладка станка на обработку детали с нескольких сторон при повороте стола станка. Приспособление должно быть выверено в угловом направлении относительно линейных координат, а также в линейном направлении по отношению к оси поворота.

Для правильной установки приспособления имеют соответствующие базовые элемента (шпонки, пальцы), которые соответствуют базовым элементом стола станка (пазы, центральное отверстие). Совмещая указанные базовые элементы добиваются правильного размещения приспособления в координатах станка. В случае если такие элементы отсутствуют или требуется более точная установка приспособления применяют мерные оправки. При этом мерная оправка закрепляется в шпинделе станка, перемещая стол в нужном направлении добиваются касания оправки базовых элементов приспособления, в случае если это крайне важно используют набор мерных плиток. Важно заметить, что для совмещения оси шпинделя и центра детали применяют оптический или индикаторный центроискатели.

Наладка режущего инструмента на размер

В современном производстве возможно определение положения вершины резца при помощи специальных приборов. Такие приборы имеют подставку, имитирующую присоединительные поверхности станка, подвижную каретку, измерительное устройство (микроскоп, проектор, индикатор). Установив режущий инструмента на подставке, при помощи каретки перемещают его до нужного положения, отслеживая все перемещения на измерительном устройстве. Полученную информацию заносят в автоматическом или ручном режиме в УЧПУ станка. Такие устройства позволяют, кроме того, проверить правильность и точность исполнения режущей части. Сегодня существуют системы, позволяющие автоматически распознавать инструмент. Для этого используются модульные инструментальные блоки, которые

оснащают носителем информации виде электронного чипа. В память инструмента заносят код инструмента, а также различную технологическую информацию, кроме того такой чип может использоваться для записи статистической информации и ходе технологического процесса, что обеспечивает обратную связь между технологической службой и непосредственным исполнением техпроцесса. Система имеет специальные устройства, позволяющие считать эту информацию, предать ее в ЭВМ склада, УЧПУ, технологам. Современные устройства ЧПУ позволяют автоматически осуществлять ''привязку'' инструмента к координатной системе станка. Для этого система должна иметь специальный цикл, а также устройство, позволяющее отследить местоположение режущей кромки инструмента. Оператору достаточно установить инструмент и задать соответствующую команду с пульта оператора. В случае отсутствия указанных систем ''привязка'' инструмента осуществляется оператором методом пробных проточек. Для этого оператору крайне важно в ручном режиме осуществить проточку заготовки на небольшую длину, отвести инструмент, от заготовки не перемещая его по фиксируемой координате. Произвести замер, включить режим привязки инструмента, записать измеренную информацию в УЧПУ. Такую процедуру крайне важно провести по всем координатам.

Режимы работы станков с ЧПУ. Станки с ЧПУ могут работать в нескольких режимах: автоматический, полуавтоматический, ручной ввод, ручной, режим привязки инструмента. В автоматическом режиме осуществляется отработка управляющей программы безостановочно до одной из вспомогательных команд. В полуавтоматическом режиме осуществляется покадровая отработка управляющей программы. После чего выполнение программы приостанавливается до нажатия клавиши ''Пуск''. В режиме ручного ввода оператор имеет возможность откорректировать управляющую программу или создать новую, а также ввести константы (параметры) станка. В ручном режиме оператор имеет возможность перемещать рабочее органы, задавать технологические команды (пуск-останов шпинделя, включение охлаждения, смена инструмента, установка рабочее подачи), выполнять простейшие переходы (проточить диаметр, подрезать торец). В режиме привязки инструмента вводится информация о фактическом положении

режущего инструмента в системе координат станка, а также вводится коррекция на износ инструмента.

Органы управления. Для работы оператора в ручном режиме предусмотрены следующие органы управления: кнопки включения и отключения шпинделя, зажима-отжима инструмента и шпинделя, смены инструмента, клавиши или манипулятор типа джойстик управления перемещениями рабочих органов вдоль координатных осей на рабочей подаче или ускоренном ходу, штурвал для дискретных перемещений рабочих органов, кнопка возврата рабочих органов в ''Нуль'' станка. Почти на всех станках с ЧПУ имеются корректоры рабочей подачи, а на станках с регулируемым приводом и частоты вращения шпинделя в пределах от 0-120%.

Органы сигнализации. Органы сигнализации можно разделить на три группы: оперативные сигнальные группы, оперативные сигнальные лампы, диагностические сигнальные лампы, устройство цифровой индикации.

Оперативные лампы сигнализируют о готовности к выполнению цикла соответствующими агрегатами: включение станка в сеть, включение выбранного режима и др. В качестве диагностических лам, т.е. свидетельствующих о неисправности или некорректной работе обычно используются те же. Современные УЧПУ немыслимы без дисплея, на который выводится полная информация о местоположении рабочих органов, и протекании технологического процесса. Также на экран монитора может выводится управляющая программа.

Управление точностью. Одним из непременных условий, обеспечивающих получение требуемой точности детали при обработке на станках, работающих в автоматическом цикле, является соответствие фактических размеров, размерам, заданным в управляющей программе. Выполнение этого условия зависит от сохранения положения режущих кромок инструмента и баз станка относительно начала отсчета. Для этого крайне важно компенсировать погрешности статической наладки, развивающиеся в результате изнашивания режущего инструмента и температурных деформаций системы СПИД, а также в результате замены инструмента. Для решения этой задачи используются автоматические системы, обеспечивающие коррекцию точности статической наладки в сходном положении. Коррекция точности статической наладки в исходном положении необходима при переналадке

станка непосредственно перед обработкой первой детали очередной партии. Именно на этом этапе погрешность составляет наибольшее значение. Автоматическую коррекцию наладки можно выполнять также непосредственно в процессе обработки партии деталей, после одного или нескольких циклов обработки. Такая коррекция позволяет уменьшить влияние систематически действующих факторов. Современные станки с ЧПУ имеют специальную систему управления точностью.

Рассмотрим систему автоматической коррекции для токарного станка с ЧПУ. Это устройство фиксирует отклонения вершины режущей кромки инструмента вследствие изнашивания, температурных деформаций или замены пластины. Отклонение положения вершины резца измеряется в двух перпендикулярных направлениях, соответствующих образованию линейных и радиальных размеров детали. Процесс измерения осуществляется по определенной программе системы ЧПУ. По команде системы ЧПУ револьверная головка выводится в определенное положение, при котором резец устанавливается в измерительной позиции. Далее происходит установочное перемещение револьверной головки до касания режущей кромкой измерительного наконечника датчика. Далее револьверная головка возвращается, в измерительную позицию, после чего установочное перемещение осуществляется для другой координаты. На основании результатов измерения производится автоматическая коррекция в блоке ЧПУ, позволяющая компенсировать изменение положения режущей кромки инструмента. Такую коррекцию целесообразно производить непосредственно перед чистовым проходом. Проверка и оценка новой управляющей программы. Весьма ответственным этапом работы является отладка новой УП. Этот этап наладки осуществляет чаще всего наладчик или наладчик совместно с технологом программистом. В ходе отладки УП проверяют ее оптимальность по параметрам производительности, качества обработки, отсутствия вибраций, стойкости инструмента, приемлемого схода стружки. По результатам обработки пробной детали УП редактируют. Наиболее высокий результат редактирования УП должна быть достигнут только с использованием теоретических знаний в области металлообработки, а также творческого подхода.

Работа наладчика станка начинается чаще всего с устранения ошибок, не позволяющих начать процесс обработки. Такие ошибке бывают сведены к минимуму при применении современных способов составления УП, который состоит в использовании средств автоматизированного проектирования CAD и CAM. Чаще всего встречаются следующие ошибки первоначальной редакции:

- нуль программы выбран за пределами рабочей зоны;
- использованы технологические команды невыполняемые станком;
- инструменты при холостых перемещениях и сменах задевают за элементы станка, крепежную оснастку или обрабатываемую деталь.

Наибольшего внимания требует проверка вероятности наличия в программе третьего вида ошибок, которые могут привести к возникновению аварийной ситуации, поломке дорогостоящего инструмента. Новую программу целесообразно отрабатывать в полуавтоматическом режиме, проверяя каждый кадр программ перед его отработкой. Ситуация, связанная с нежелательными столкновениями инструмента с элементами станка могут возникнуть также при неправильном вводе информации о коррекции инструмента. По этой причине при пробной отработке УП следует также перед началом работы нового инструмента проверять правильность его ’’привязки’’. При первой отработке УП целесообразно снижать скорость перемещения рабочих органов, пользуясь регулятором подачи. При незапланированном контакте инструмента с заготовкой или другими элементами крайне важно остановить подачу при помощи соответствующего переключателя. При встрече препятствия инструментами во время его смены следует воспользоваться кнопкой аварийного отключения. В целях экономии материала, в случае больших деталей, отработку УП осуществляют с использованием более дешевого и легкообрабатываемого материала.

Для оценки оптимальности УП руководствуются принципами построения технологических процессов на станках с ЧПУ. Основная характерная черта – интеграция обработки, т.е. последовательное выполнение большого числа переходов, выполняемых различными инструментами. При этом характерен последовательный переход от черновой обработке к чистовой. Следующий этап проверки оптимальности УП – оценка правильного выбора режимов резания. При черновой обработке крайне важно достичь максимальной производительности, при этом

критерием выбора режима резания является экономическая стойкость инструмента. При чистовой обработке определяющую роль играют требования точности и шероховатости обработанной поверхности.

В процессе отладки программы крайне важно проверить соответствие заложенных режимов резания возможностям инструмента и станка, надежности закрепления заготовки. Особое внимание следует уделить возникновению вибраций, т.к. вибрации способствуют разрушению инструмента и повышенному износу узлов станка. Погасить вибрацию можно путем изменения скорости резания, подачи или глубины резания. Наиболее часто вибрации возникают при срезании тонких стружек, в связи с этим самый простой прием гашения вибрации – увеличение подачи на оборот. Возникновению вибраций способствует также очень острая кромка, при ее затуплении вибрации могут прекратится самопроизвольно. Надежно гасит вибрации фаска на режущей кромке, притупляющая лезвие инструмента. Фаску выполняют на передней поверхности режущей части инструмента под углом -15 º. Фаску можно выполнить при помощи алмазного бруска не снимая инструмент со станка.

При токарной обработке и сверлении существенным показателем правильно выбранных режимов резания является характер схода стружки. Сливная стружка представляет угрозу для инструмента т.к. не удаляется самостоятельно из зоны резания. Наилучшей по всем показателям является дробленая стружка. Решить проблему дробления стружки можно тремя способами:

- изменением движения рабочих органов;
- приданием передней поверхности инструмента соответствующей формы;
- режимами резания.

Изменение движения рабочих органов приводит к усложнению УП, а также к увеличению времени обработки. Наиболее перспективным является применение специальной заточки инструмента или применение инструмента с СМП с заложенными функциями стружкодробления. Также дробления стружки можно достичь увеличивая подачу и (или) снижая скорость резания. В ряде случаев, к примеру, при программировании сложного контура детали целесообразно выполнить прорисовку движения режущего инструмента при помощи программных средств.

При наладке станка с ЧПУ выбирают материал для пробной обработки и определяют режимы резания в следующей последовательности:

1. Устанавливают глубину резания (t) с учётом припуска и точности обработки.

2. Выбирают режущий инструмент, устанавливают его тип, размер, материал и геометрию заточки в зависимости от:

· вида обрабатываемых поверхностей;

· характера обработки;

· материала режущей части инструмента.

3. Выбирают рекомендуемую подачу (по справочнику) с учётом метода обработки, глубины резания, мощности станка, материала заготовки и режущей части инструмента, прочности инструмента, точности и шероховатости обрабатываемой поверхности. Рекомендуемую подачу необходимо уточнить по паспорту станка.

4. Выбирают период стойкости режущего инструмента в зависимости от типа и размера инструмента, характеристики заготовки и условий работы.

5. Рассчитывают по формулам скорость резания, как функциональную зависимость от ряда факторов:

$$V = F (C_v, T, t, S, D, B, Z, K_v), \quad (3.3)$$

где C_v – коэффициент на скорость резания, учитывающий материал заготовки и режущей части инструмента; T – период стойкости инструмента, t – глубина резания; S – подача; D – диаметр инструмента; B – ширина фрезерования; Z – число зубьев фрезы; K_v – поправочный коэффициент на скорость.

При другом методе скорость резания выбирают по таблицам:

6. Определяют частоту вращения либо заготовки, либо инструмента и сравнивают с имеющейся на станке:

$$n = 1000V/\pi d. \quad (3.4)$$

3. Определив расчётную частоту вращения, принимают действительную частоту вращения по паспорту станка, ближайшее к расчётному:

$$n_{ст} \approx n. \quad (3.5)$$

4. Рассчитывают фактическую скорость резания, соответствующую частоте вращения шпинделя станка:

$$V_ф = \pi\, d\, n_{ст}/1000. \quad (3.6)$$

5. Определяют составляющие силы резания, как функциональную зависимость от ряда факторов:

$$P_{zyx} = F(C_p, t, S, V, K_p). \quad (3.7)$$

6. Определяют крутящий момент, как функциональную зависимость от ряда факторов:

$$M_{кр} = F(C_м, t, S, V, K_м). \quad (3.8)$$

7. Определяют мощность процесса резания (в киловаттах):

$$N = P_z \cdot V/1020 \cdot 60. \quad (3.9)$$

8. Сравнивают рассчитанную мощность процесса резания с мощностью станка. Если мощность станка меньше (недостаточна), то либо изменяют режимы резания, либо выбирают станок большей мощности.

3.6. Наладка мехатронной системы лазерного технологического комплекса

Особенности наладки лазерного технологического комплекса рассмотрим на примере автоматизированного комплекса лазерного термоупрочнения ЛК-5В, вид которого представлен на рис.1.11, а технические характеристики на листе 23. Комплекс предназначен для локального лазерного упрочнения путем перемещения пятна лазерного излучения относительно обрабатываемой детали. Значительные величины перемещений лазерного пятна позволяют производить поверхностное упрочнение быстроизнашивающихся поверхностей крупногабаритных дорогостоящих деталей.

Рабочий стол комплекса грузоподъёмностью до 2000 кг обеспечивает свободную установку и базирование спутников-паллет, а комплект системы ЧПУ Sinumerik 840Di позволяет производить управление пятью осями на станке. Конструкция рабочего стола обеспечивает свободную установку и четкое базирование спутников-паллет, приспособлений и устройств с обрабатываемыми деталями, исключая случайное смещение деталей по координатам X, Y и Z и от горизонтального положения.

Конструкция крепления и юстировки зеркал (СТФИ) исключает возможность произвольной разъюстировки. Конструкция технологического поста, его систем, узлов и элементов обеспечивает эксплуатационную надежность с наработкой на отказ не менее 600 часов машинного времени.

Пульт управления технологическим постом является центральным пультом управления лазерным комплексом. САУ принимает и реагирует на следующие сигналы от системы управления лазером:

– числовое значение мощности излучения;

– числовое значение тока вкладки;

– превышение предельной температуры теплонагруженных узлов лазера (превышение – нет превышения).

– готовность лазера (готов – не готов);

– состояние холодильной машины (включена – не включена);

– состояние включенности накачки лазера (включен – выключен);

– аварийное состояние.

САУ обеспечивает вывод на внешний разъем следующих сигналов для СУ лазером:

– требуемое (задаваемое) числовое значение мощности;

– включение (отключение) излучения (накачки) лазера и автоматический переход в рабочий режим с малой выходной мощностью;

– переключение режима установленной мощности и минимальной мощности;

– включение (отключение) холодильной машины.

Работа устройства может осуществляться как в автоматическом, так и в ручном режиме.

Ручной режим предполагает управление системой транспортировки и фокусировки излучения (СТФИ) во всех плоскостях и управление устройствами манипулирования деталями (при необходимости), а также установку параметров лазера оператором непосредственно с пульта управления технологического поста.

Автоматический режим предполагает управление манипулятором луча (СТФИ) и устройствами манипулирования деталями (при необходимости), а также параметрами лазера программным путем.

Исходными данными для работы в автоматическом режиме являются заданная траектория обработки и параметры режима технологического процесса обработки (мощность, скорость обработки, точки включения и отключения излучения и т.д.)

Процесс обработки поверхности в автоматическом режиме (фактическая траектория движения пятна излучения) должен наглядно

отображаться на устройстве вывода информации (дисплее). Комплекс выполнен на современной элементной базе, что позволяет достичь высокой точности, высоких динамических показателей, и обеспечивает надежность и долговечность работы. Скорости быстрых перемещений 30 м/мин и ускорения 5 м/с^2 обеспечивают обработку с минимальным машинно-вспомогательным временем.

Сложность процесса лазерной термообработки и его недостаточная изученность в настоящее время не позволяют создать достаточно точные математические модели технологического процесса, которые учитывали бы все многообразие условий обработки. Поэтому при выборе режимов обработки очень часто руководствуются либо экспериментальными данными, либо используют приближенные закономерности, имеющие простую форму.

Максимальная глубина закаленного слоя – Z получается в том случае, если температура на поверхности обрабатываемого металла достигает температуры плавления -Тпл.

Для каждого материала главным фактором, определяющим глубину закаленного слоя, является *время действия лазерного луча - t.*

Если известна требуемая глубина закаленного слоя (например, из условия допустимого износа детали в процессе эксплуатации или с учетом допустимого числа перешлифовок и т.д.), то требуемое время действия лазерного луча - t определяется по формуле:

$$t = \pi \cdot Z^2 \cdot [\, Тпл/ (Тпл - Тзак) \,]^2 / 4 \cdot a, (сек), \quad (3.10)$$

где а - коэффициент температуропроводности материала,см^2/с; Тзак –температура нагрева материала детали под закалку,°С; Тпл -температура плавления материала детали,°С.

Необходимая *эффективная плотность мощности - Qэф* теплового источника определяется из выражения:

$$Qэф = \lambda \cdot Z\ (Тпл - Тзак)/A, (Вт/см^2), \quad (3.11)$$

где λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/(см·°С); А– коэффициент поглощения энергии лазерного излучения материалом детали.

Для закалки на требуемую глубину *радиус лазерного луча - r* на детали можно определить по формуле:

$$r = [\, \gamma \cdot A \cdot Po \cdot Z/ \pi \cdot \lambda \cdot (Тпл - Тзак)]^{½}, (см), (3.12)$$

где γ – коэффициент, учитывающий долю энергии, распространяющейся вглубь обрабатываемого материала по нормали от его поверхности; Ро – мощность лазерного излучения, Вт.Для определения *необходимой скорости луча* используется зависимость:

$$Vзак = 2\ r/\ t = [8a\cdot (Tпл - Tзак)^{3/2} / \pi\cdot Tпл^2 \cdot Z^{3/2}] \cdot$$

$$(\gamma\cdot A\cdot Po/ \pi\cdot \lambda)^{1/2}, (см/сек). \qquad (3.13)$$

Получаемые значения режимов термоупрочнения носят ориентировочный характер и требуют дополнительного уточнения в конкретных производственных условиях, на конкретных лазерных комплексах. В таблице 3.1 приведены сведения о теплофизических свойствах материалов, используемые при расчетах режимов лазерного термоупрочнения, а в таблице 3.2 – расчетные коэффициенты.

Таблица 3.1

Теплофизические свойства обрабатываемых материалов

Материал	Плотность материала - ρ (г/см³)	$T_{плав}$ (°С)	Коэф. теплопроводности λ Дж/(см·с·°С)	Удельная теплоёмкость - C Дж/(г·°С)	Коэф.температуропроводности - a, (см²/с)
Углеродистые стали	7,86	1530	0,38…0,42	0,75	0,075…0,09
Нержавеющие стали	7,8	1450	0,3	0,65	0,083
Латунь	8,85	1050	1,17	0,4	0,34

Таблица 3.2

Расчетные коэффициенты для различных металлов и сплавов.

Материал	Средняя температура - t, °С	Коэф. теплопроводности - λ, Дж/(см · с · °С)	Объёмная теплоемкость Cp Дж/(см³ · °С)	Коэф. температуропроводности- a, см²/с
Углеродистые и низколегированные стали	500…600	0,38…0,42	4,9…5,2	0,075…0,09
Нержавеющие аустенитные стали	600	0,25…0,33	4,7…4,8	0,053…0,07
Медь	400	3,7…3,8	3,85…4,0	0,95…0,96
Латунь	350…400	1,17	3,45	0,34
Алюминий	300	2,7	2,7	1,0
Технический титан	700	0,17	2,8	0,06

В таблице 3.3 представлены типовые материалы, используемые для назначения теплопоглощающих покрытий.

Таблица 3.3

Свойства водорастворимых полимерных покрытий.

Марка покрытия	***Основа***	***Цвет***	***Коэфф. поглоще-ния- А***	***Упрочняемые материалы***
МЦС- 510	Силикат натрия и метилцеллюлоза	Белый	0,8	Железоуглеродистые сплавы
СГ-504	Силикат натрия	Темно-коричневый	0,9	Железоуглеродистые сплавы
ФС-1М	Алюмохромфосфат	Темно-зеленый	0,9	Алюминиевые сплавы

В таблице 3.4 представлены режимы термического упрочнения без оплавления некоторых сталей, полученные эмпирически на много-канальном CO_2 лазере.

Таблица 3.4

Режимы термического упрочнения

Сталь	Режим	Твердость, HRC	Глубина, мм
40Х	Р3500 V15 D15	60-62	1.1
50ХН	Р3500 V15 D15	55-58	1
38ХН3МФА	Р3000 V12,5 D15	54-56	1.5
ОХН3М	Р3500 V12,5 D15	50-52	1.4
ШХ15	Р3000 V20 D12	60-64	1.4
18ХГТ	Р3500 V14 D12	40-44	1.3

Методика выбора режимов лазерного термического упрочнения, приведенная в предыдущем разделе, сводится к итерационному поиску необходимых параметров на базе алгебраических уравнений (3.10) - (3.13) с многократной проверкой на образце материала. В то же время, термоупрочнение – высоко динамичный процесс, скорость протекания которого и определяет получаемую структуру поверхностного слоя. Исходя из этого, при назначении режимов следует оценивать динамику процесса.

Закалка предполагает не только нагрев металла выше температуры фазового превращения $T_{зак}$, но и достаточно быстрое охлаждение. Для превращения аустенита в мартенсит скорость охлаждения должна быть больше критической скорости закалки, т. е. такой, при которой весь аустенит переохлаждается до температуры начала мартенситного превращения $T_м$. Степень закалки при различных законах изменения температуры металла от времени можно оценить из термокинетических диаграмм превращения аустенита. Из термокинетической диаграммы для данного металла можно найти исключающие распад аустенита значения времени охлаждения в диапазоне от температуры фазового перехода $T_{зак}$ до значений температуры T_i наиболее быстрого распада аустенита. Найденное таким образом время является максимальным временем воздействия лазерного теплового источника, при котором возможна полная самозакалка металла. Большую роль в процессах охлаждения играют форма и масса обрабатываемой детали. Известно, что кинетика превращений переохлажденного аустенита зависит от большого числа разнообразных факторов. Небольшие изменения состава металла, условий выплавки, разливки, раскисления, теплофизических констант, условий нагрева при закалке и т. п. существенно влияют на кинетику его превращения, поэтому диаграммы распада аустенита рассматриваются как ориентировочные. Указанные причины приводят к тому, что оценить используемые в приведенных расчетах значения времени охлаждения и соответственно необходимые для получения максимальной глубины закалки режимы можно только ориентировочно. Скорости нагрева и охлаждения металла определяются следующими уравнениями:

- скорость нагрева по времени и глубине z

$$v = \frac{\partial T(z,t)}{\partial t} = \frac{A_{ef} \cdot q_S}{\lambda_T} \cdot \left(\sqrt{\frac{\alpha}{t}} \cdot ierfc\left(\frac{z}{2\sqrt{\alpha t}} \right) + \frac{z}{2t} \cdot ierfc\left(\frac{z}{2\sqrt{\alpha t}} \right) \right). \quad (3.14)$$

- скорость нагрева на поверхности (z=0)

$$v = \frac{A_{ef} \cdot q_S}{\lambda_T} \sqrt{\frac{\alpha}{\pi \tau_i}} = \frac{q_S}{\sqrt{\lambda_T \cdot c\rho \cdot \pi \cdot t}}. \quad (3.15)$$

- скорость охлаждения по времени

$$v = \frac{\partial T(0,t)}{\partial t} = \frac{A_{ef} \cdot q_S}{\sqrt{\lambda_T \cdot c\rho \cdot \pi}} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{t}} - \frac{1}{\sqrt{t - \tau_i}} \right). \quad (3.16)$$

Учитывая приближенный характер приведенных зависимостей, выбор параметров термоупрочнения целесообразно выполнять путем параллельных натурного и «машинного» экспериментов.

На рис.3.49 приведен алгоритм выполнения параллельных натурного и «машинного» экспериментов, который может использоваться при наладке комплекса. Для проведения экспериментов необходим датчик измерения температуры нагрева при воздействии лазерного луча на материал и программный продукт моделирования этого воздействия.

В качестве датчика температуры может быть использован оптический инфракрасный пирометр. Принцип действия инфракрасного пирометра основан на измерении абсолютного значения амплитуды электромагнитного излучения от объекта в инфракрасной части спектра и последующем преобразовании измеренного значения в температуру. Для выполнения поставленной задачи можно использовать пирометр фирмы Optris модель Optris CT 1M/2M. ИК термометры Optris CT 1M/2M - двухкомпонентные стационарные пирометры с электронным блоком, имеющим многофункциональный дисплей, кнопки для программирования и управления, предназначены для высокотемпературных измерений и применяются для измерений в спектральном диапазоне 1,0 мкм / 1,6. Миниатюрные размеры датчика (диаметр 14 мм, длина 28 мм) позволяют установку в труднодоступных местах. Работа при температуре окружающей среды до 125°C без охлаждения.

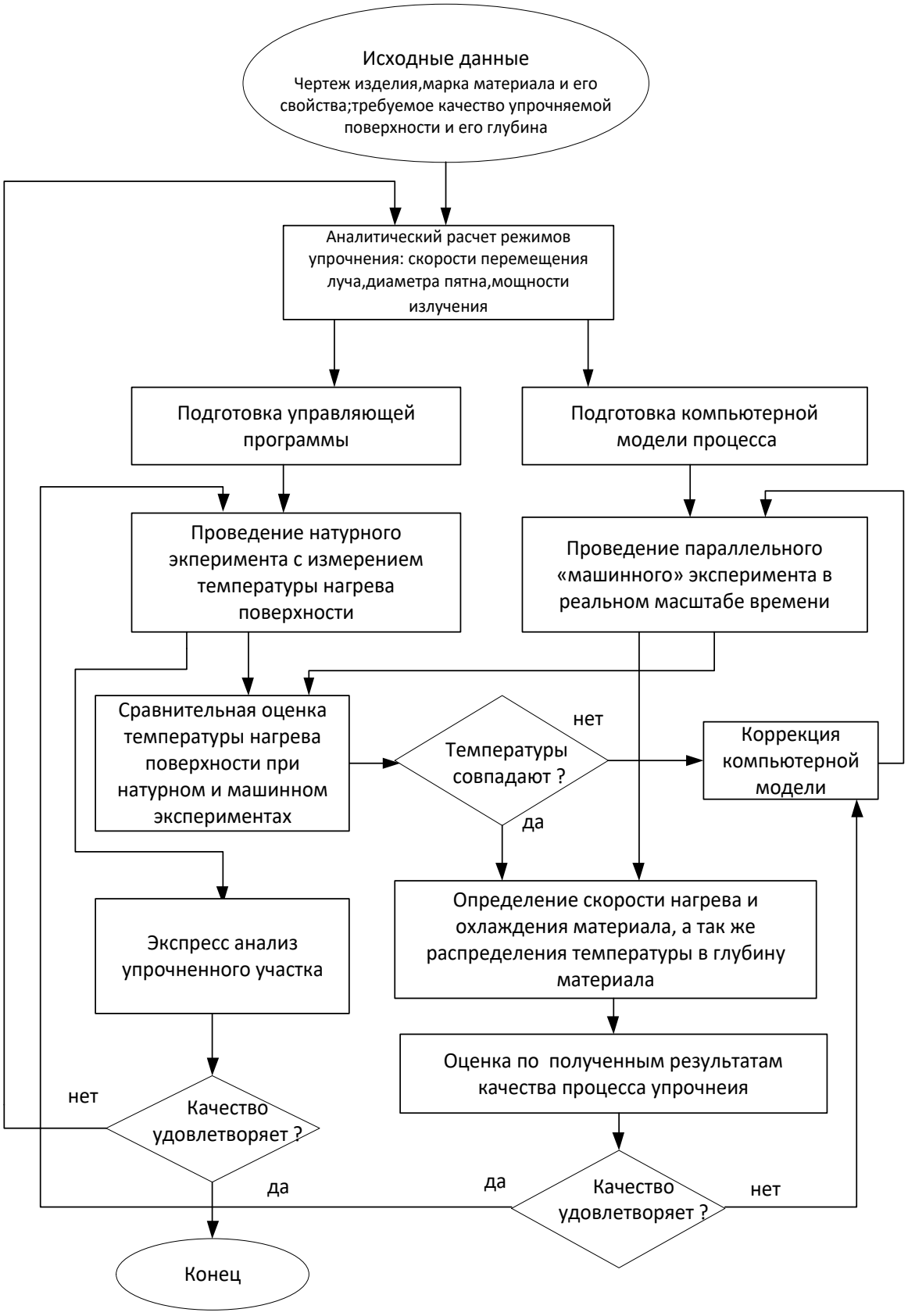


Рис. 3.49. Алгоритм выполнения параллельных натурного и «машинного» экспериментов

В соответствии с алгоритмом на рис. 3.49 и на основании исходных данных по выражениям (3.14) –(3.16) определяются приближенные режимы упрочнения. После этого разрабатываются управляющая программа для комплекса и программа компьютерного моделирования. При подготовке программы моделирования следует отобразить геометрические параметры и массу упрочняемого изделия, используя метод конечных элементов. Проводятся параллельные натурный и «машинный» (симуляция) эксперименты. На рис.3.50 представлена матрица температур нагрева поверхности стали 40Х.

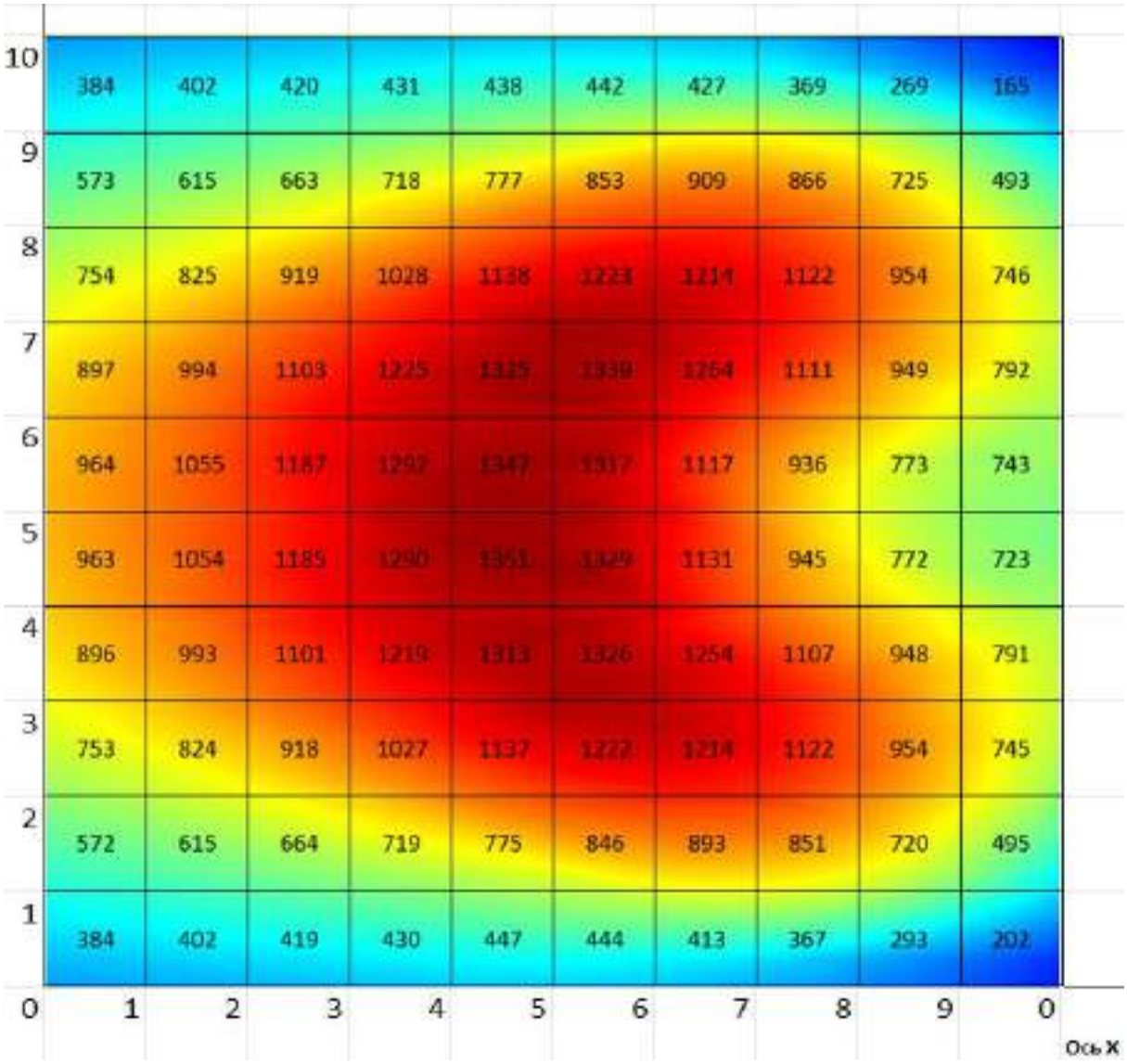


Рис. 3.50. Матрица температур модели нагрева поверхности изделия из стали 40Х

По модели оцениваются тепловые процессы в глубину материала. На рис.3.51 приведена свернутая 3х-мерная матрица температур нагрева указанного выше материала до глубины 4 мм в процессе движения пятна излучения. По этой матрице строятся графики изменения температуры во времени, вид которых до глубины 2мм представлен на рис. 3.52.

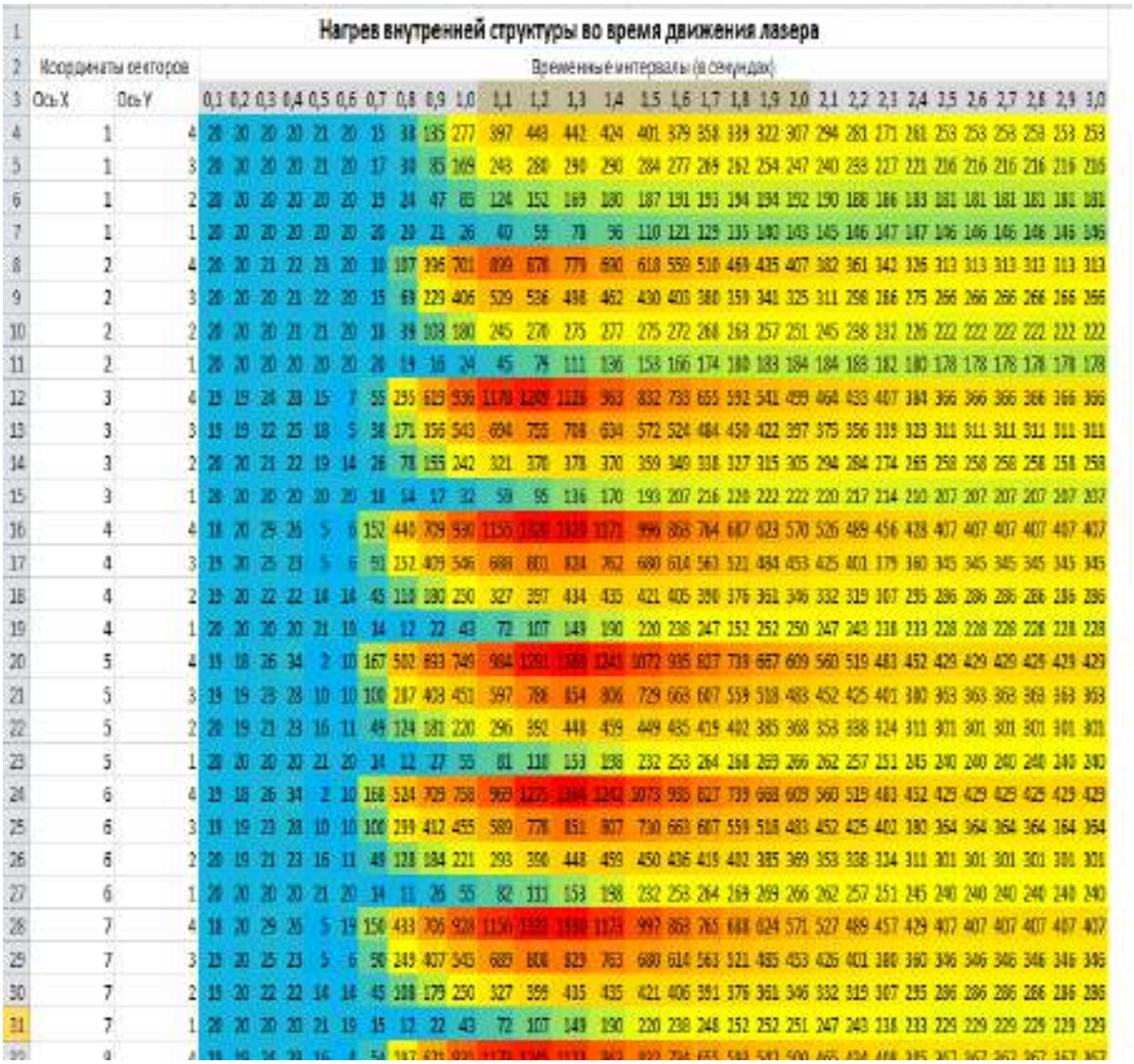


Рис. 3.51. Свернутая 3х-мерная матрица температур нагрева в глубину материала

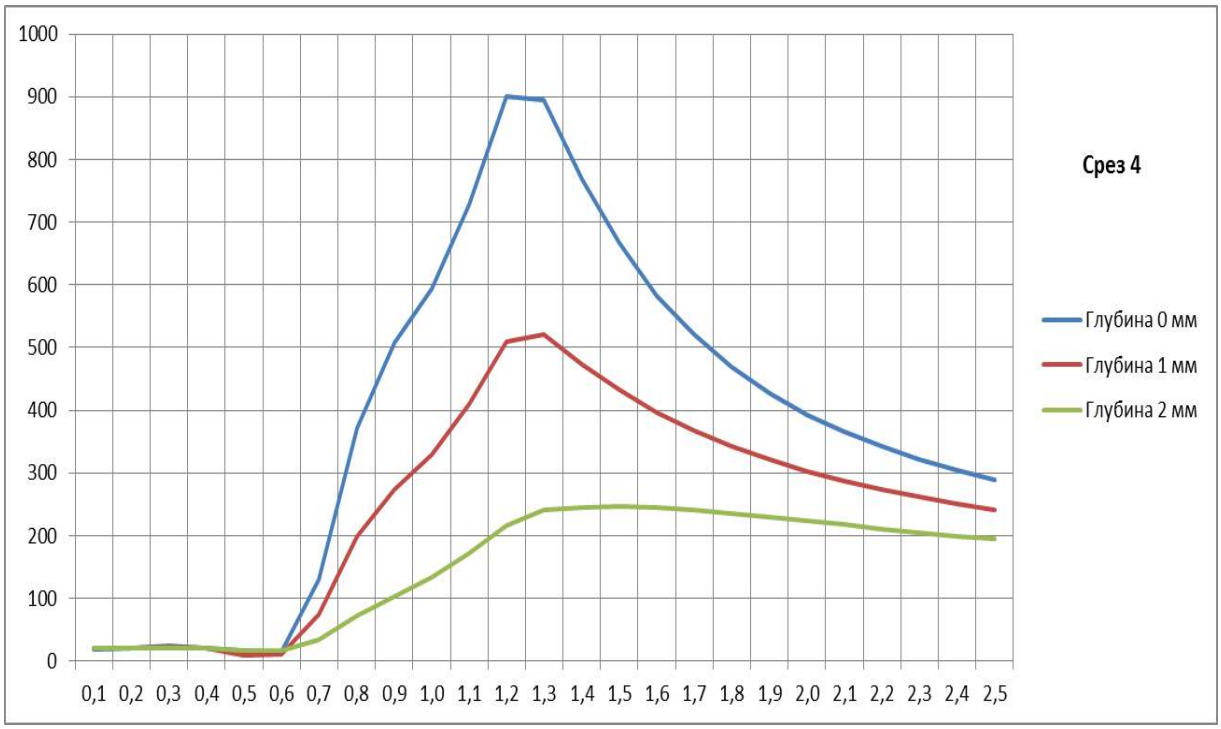


Рис. 3.52. Графики изменения температуры до глубины 2мм

По графикам рис.3.52 не сложно установить средние скорости нагрева и охлаждения материала в глубине и оценить его структурные преобразования. При получении неудовлетворительного результата корректируются режимы упрочнения (скорость движения луча и мощность излучения). Скорректированные параметры режимов вводятся в программу для ЧПУ и проводится натурный эксперимент.

Процесс подготовки программ обработки деталей на лазерном технологическом комплексе обычно включает следующие основные действия:

- оценка возможности проведения лазерной термической обработки на конкретной детали с учётом её формы и материалов, из которых она изготовлена;

- выбор режима лазерной термической обработки с учётом опыта, полученного при обработке изделий схожей формы и материала или опираясь на вновь проведённый эксперимент на отладочном изделии;

- измерение и описание геометрии обрабатываемой детали (при отсутствии ее модели);

- разработка плана обработки детали на лазерном технологическом комплексе;

- разработка управляющей программы лазерного термоупрочнения для лазерного технологического комплекса;

- компиляция программы либо набор с пульта в систему управления.

Ручное программирование возможно использовать при обработке сравнительно простых по конфигурации деталей, когда трудоемкость подготовки программ вручную соизмерима с трудоемкостью подготовки исходных данных для расчетов на ЭВМ. Для автоматизированного программирования с использованием ЭВМ систему автоматизированной подготовки управляющих программ упрочнения изделий лазерный технологический комплекс необходимо оснастить датчиком-измерителем, способным предоставлять для ЭВМ данные, необходимые для составления геометрической матрицы поверхности объекта с требуемой точностью измерения, программой-процессором и программой-постпроцессором для преобразования геометрической матрицы поверхности объекта в его 3-D модель, а так же программный код, воспринимаемым УЧПУ лазерного технологического комплекса. В качестве измерителя предлагается использовать лазерный датчик-дальномер семейства бинокулярных триангуляционных лазерных датчиков серии ЛД2, которые способны работать в режиме в режиме 3-D сканера для построения геометрической матрицы поверхности детали.

Бинокулярные триангуляционные датчики серии ЛД2 поставляются с программным обеспечением для ЭВМ/ПК, которое способно не только строить геометрическую матрицу поверхности сканируемого объекта, но и преобразовывать её для последующей обработки постпроцессором в 3-D модель.

Предлагается процесс подготовки программы в режиме обучения выполнять с следующей последовательности:

1. Сканирование объекта.

2. Составление геометрической матрицы поверхности сканируемого объекта.

3. Построение 3-D модели детали на основе геометрической матрицы поверхности сканируемого объекта.

4. Выбор на 3-D модели поверхностей или участков поверхностей, подлежащих термоупрочнению с использованием ПК.

5. Генерация постпроцессором программного кода.

6. Сохранение созданной управляющей программы упрочнения обрабатываемой детали в памяти УЧПУ и/или ПК.

Задание режимов обработки (требуемой мощности и скорости движения).

Алгоритм работы лазерного технологического комплекса, оснащенного бинокулярным триангуляционным лазерным датчиком ЛД2 в режиме обучения по осям X и Y приведен на рис.3.53.

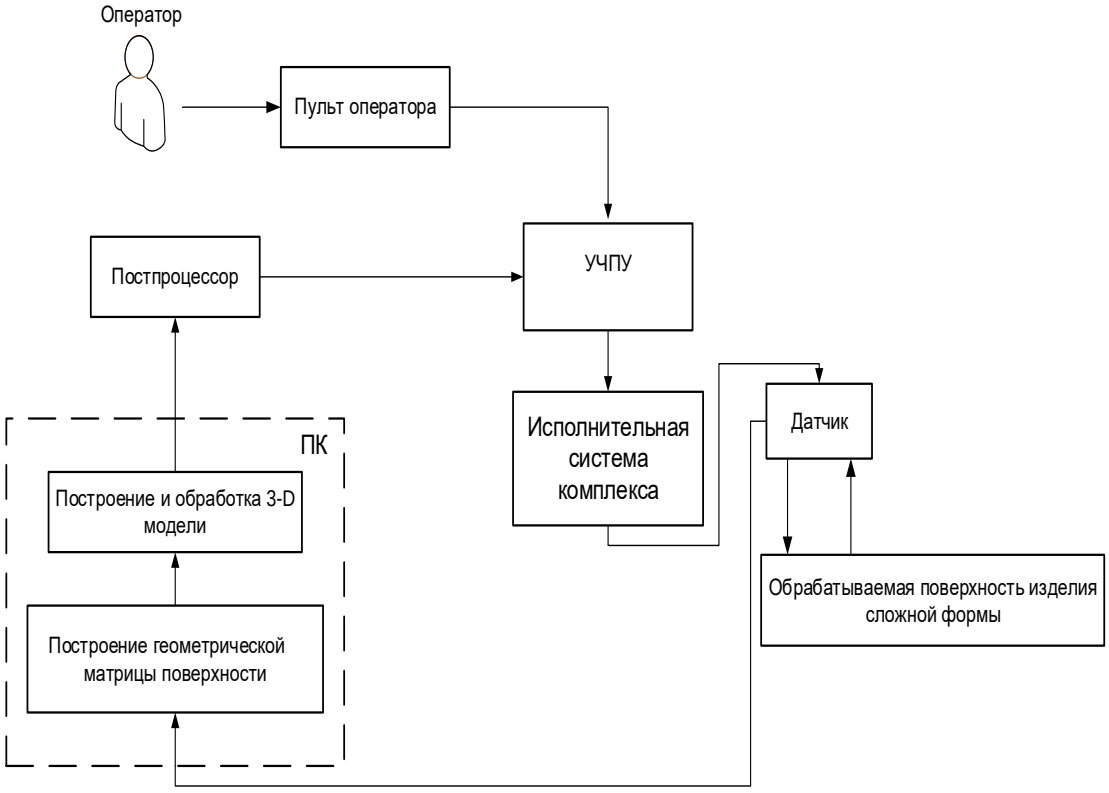


Рис. 3.53. Алгоритм работы лазерного технологического комплекса в режиме обучения

Вопросы для самопроверки

1. Как осуществляется контрольная наладка мехатронных и робототехнических систем?

2. Как осуществляется выборка зазоров в подшипниковых узлах?

3. Как осуществляется выборка зазоров в зубчатых передачах и механизмах?

4. Как осуществляется выборка зазоров в передачах винт – гайка?

5. Какова последовательность наладки пневмогидрооборудования?

6. Какие работы нужно выполнить перед пуском пневмопривода?

7. Какие работы нужно выполнить перед пуском гидропривода?

8. Как производится настройка давления в пневмо и гидро системах?

9. Как производится наладка гидрораспределителей?

10. Как производится наладка пневмораспределителей?

11. Как производится наладка пневмо и гидро клапанов?

12. Порядок действий при недостаточном усилии на штоке пневмо или гидро цилиндра.

13. Назовите общие методы сокращения времени наладки и выявления неисправностей.

14. В чем заключаются особенности метода обратной последовательности?

15. Какие приборы используются при наладке электрооборудования?

16. Как регулируют выдержку времени в реле времени?

17. Как выполняется контрольная наладка системы управления промышленного робота?

18. Как выполняется наладка робота по тестовой программе?

19. Как выполняется наладка микропроцессорных систем управления?

20. Как выполняется наладка информационных систем?

21. Как выполняется наладка информационных систем восприятия внешней среды?

22. Как выполняется проверка правильности настройки системы светозащиты?

23. Какова роль моделирования в наладке системы программного управления робототехнического устройства или мехатронной системы?

24. Задача настройки электроприводов робототехнического устройства или мехатронной системы.

25. Что настраивается в электроприводах робототехнического устройства или мехатронной системы?

26. Приведите типовую структурную схему регулируемого электропривода.

27. Как производится настройка привода по его модели с использованием пакета Matlab?

28. Приведите порядок практической настройки регулируемого электропривода.

29. Как выполняется практическая настройка параметров регулятора тока в электроприводе?

30. Как выполняется практическая настройка параметров регулятора скорости в электроприводе?

31. Как выполняется практическая настройка параметров регулятора положения в электроприводе?

32. Назовите последовательность галадки мехатронной системы металлорежущего станка.

33. Как производится наладка режущего инструмента в станке по размеру?

34. Назовите режимы работы станков с ЧПУ.

35. Как производится управление точностью металлорежущего станка?

36. Как производится исправление программы ошибок при наладке металлорежущего станка с ЧПУ?

37. Как назначаются режимы резания для металлорежущего станка?

38.Назовите режимы работы лазерного технологического комплекса.

39. Какие параметры задаются при наладке лазерного технологического комплекса?

40. Роль выполнения параллельных натурного и «машинного» экспериментов при наладке лазерного технологического комплекса.

41. Каково содержание процесса подготовки программ обработки деталей на лазерном технологическом комплексе?

42. Охарактеризуйте процесс подготовки управляющей программы для лазерного технологического комплекса в режиме обучения.

Глава 4. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИСПЫТАНИЙ И ДИАГНОСТИКИ РОБОТОВ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

4.1. Виды и общие требования к испытаниям промышленных и мобильных роботов

При проведении испытаний промышленных роботов (ПР) следует рассматривать их как машины широкого назначения, отличительными признаками которых являются:

- способность к переналадке для выполнения действий, отличающихся последовательностью, скоростью, величиной и точностью перемещений исполнительных органов;
- способность к взаимодействию с объектами внешней среды, в том числе способность сохранения динамических параметров процесса манипулирования при изменении свойств (например, массы) перемещаемых объектов; адаптация к изменению окружающей среды и т. п.;
- особенности динамики исполнительных органов, являющихся пространственными механизмами со многими степенями подвижности и незамкнутой кинематической цепью;
- небольшая жесткость исполнительных устройств в сравнении с обслуживаемым оборудованием и напряженные динамические режимы работы (скорости до 1,5 м/с при относительно небольших перемещениях, интенсивные разгоны и торможения).
- соответствие функциональных возможностей ПР и его систем технологическому назначению робота, который может относиться к группе производственных, подъемно-транспортных или универсальных ПР;
- соответствие требований техники безопасности предполагаемой области применения.

При проведении любых видов испытаний следует предусматривать проверки, отражающие все перечисленные особенности ПР.

ПР могут подвергаться всем видам испытаний, регламентированных ГОСТ 16504-81.

Вид испытаний обусловливает совокупность определяемых показателей ПР и осуществляемых проверок, метод их определения и проведения, а также необходимые измерительные средства.

Классификация и определение видов технического контроля и испытаний ПР принимаются в соответствии с ГОСТ 16504-81. В зависимости от этапа разработки и стадии освоения производства ПР должны подвергаться различным видам испытаний (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Виды испытаний ПР

Образец для испытаний	Доводочные	Приемо-сдаточные	Исследовательские	Предварительные	Приемочные	Аттестационные	Периодические	Типовые
Опытный	+•	+	+	+	+	+•	—	—
Из установочной (первой промышленной) серии	+•	+	+•	—	—	+•	—	—
При серийном производстве	—	+	+•	—	—	+	+	+

Общие требования к испытаниям ПР

Требования к условиям проведения испытаний. На месте проведения испытаний должны быть исключены резкие колебания температуры, шум, вибрации, помехи, наличие вредных газов, паров и т. п., превышающие нормативные значения и затрудняющие проведение испытаний или влияющие на их результаты. Испытания ПР следует проводить при нормальных значениях факторов внешней среды по ГОСТ 15150-69. Для ПР, рассчитанных на работу в условиях высоких температур, запыленности, загазованности и влажности окружающей среды, испытания следует проводить в эксплуатационных условиях или в климатической камере, обеспечивающей имитацию перечисленных условий. Порядок проведения испытаний регламентируется п. 4 и 5 ГОСТ 15.001-73. При этом приемочные испытания проводят, как правило, на заводе-изготовителе опытного образца ПР. В необходимых случаях испытания проводят в эксплуатационных условиях на заводе-потребителе. По согласованию с заинтересованными организациями и предприятиями допускается проводить приемочные испытания и в других

местах. Место проведения исследовательских и типовых испытаний определяется разработчиком или организацией (предприятием), которые проводят данные испытания.

Требования к испытуемым образцам ПР и их количество устанавливаются согласно ОСТ 2 Н02-3-76.

ПР должны передаваться для испытания в пригодном для эксплуатации состоянии, с полным комплектом принадлежностей, перечень которых оговорен в сопроводительной документации на ПР или изготовление которых предусмотрено техническим заданием (для приемочных испытаний, в том числе с комплектом принадлежностей, поставляемых за отдельную плату). Испытуемые образцы должны быть отрегулированы в соответствии с руководством по эксплуатации до той степени, которая исключала бы возможность изменения их свойств во время испытаний. Требование неизменности свойств образцов во время испытаний не распространяется на испытания на надежность. При одновременном испытании нескольких образцов их установка должна исключать взаимное влияние друг на друга, а также влияние на средства измерения. При проведении приемочных испытаний для проверки исполнения технологических команд, а также с целью контроля всех предусмотренных устройств, обеспечивающих технику безопасности и безаварийную работу, вспомогательные (подъемно-транспортные) ПР должны испытываться с технологическим и вспомогательным оборудованием или со специальными стендами, имитирующими работу оборудования. Технологические (производственные) ПР должны быть оснащены всеми необходимыми устройствами для осуществления технологического процесса (сварки, окраски, сборки и т. д.).

Требования к подготовке ПР к испытаниям. Для проведения испытаний ПР должен быть установлен в помещении, обеспечивающем его нормальную работу. Установка должна производиться в соответствии с требованиями, изложенными в руководстве по эксплуатации. Испытуемый образец должен быть заполнен эксплуатационными жидкостями и подсоединен к источникам энергии. На месте проведения испытаний должно быть обеспечено выполнение правил техники безопасности. Участок для проведения испытаний должен быть огражден, а в проходе установлены предупредительные надписи, запрещающие вход на участок посторонним лицам. На полу красной полосой шири-

ной не менее *100 мм* должна быть отмечена граница рабочего пространства ПР (если указанное пространство не ограничено другими средствами). В рабочем пространстве не должны находиться посторонние лица, предметы и оборудование, препятствующие или ограничивающие движения ПР. Оборудование и приборы, применяемые при испытаниях, должны быть заземлены. Должно быть обеспечено удобство визуального контроля за ПР, а обслуживание и наладка ПР должны производиться только лицами, прошедшими обучение и инструктаж по технике безопасности.

При работе в автоматическом режиме у пульта управления должен находиться оператор. При первых же признаках неполадок и сбоев ПР должен быть немедленно выключен; повторное включение допускается после выявления причин неисправностей и их устранения.

Требования к средствам измерений. Средства измерения, применяемые для проверок и исследований ПР, должны быть аттестованы в установленном порядке и иметь соответствующий паспорт. При установлении результатов измерения должны вноситься поправки, учитывающие погрешность примененных средств измерений в соответствии с паспортными данными. Жесткость оправок, стоек и державок должна быть такой, чтобы деформации их под действием измерительного усилия и веса измерительного прибора были пренебрежимо малы по сравнению с. допуском на проверяемый параметр. Средства измерения, применяемые для проверки точностных свойств ПР, должны соответствовать общим требованиям, изложенным в ГОСТ 8-82. Проверки, выполняемые при приемочных испытаниях, следует осуществлять, по возможности, простейшими измерительными средствами. В качестве регистрирующей аппаратуры рекомендуется использовать аналоговые регистраторы промышленного типа, а также измерительно-вычислительные системы и комплексы. При выборе датчиков рекомендуется принимать уровень максимально допустимой погрешности измерений не более *1-6 %.*

Оформление результатов испытаний. Результаты приемочных испытаний оформляют актом и протоколом приемки по формам, приведенным в ОСТ 2 Н02-3-76. Оценку результатов испытаний производят в соответствии с требованиями, приводимыми в методиках испытаний конкретных моделей ПР. В разделах протокола приводят только основные результаты испытаний. Таблицы, графики, схемы и т. п.

оформляют в виде приложений к протоколу. Протокол должен содержать перечень неполадок и неисправностей, выявленных в процессе испытаний. Результаты исследовательских испытаний оформляют в виде отчетов, утверждаемых руководством организации или предприятия, проводившего испытание. Результаты аттестационных испытаний оформляют в виде документов по формам, приведенным в инструкциях о пордке аттестации продукции предприятий соответствующих отраслей. Результаты периодических испытаний оформляют протоколом по форме, приведенной в ГОСТ 15.001-73. Результаты типовых испытаний оформляют протоколом, утверждаемым руководством предприятия-изготовителя.

Требования к проведению отдельных видов испытаний. Предварительные, приемочные и аттестационные испытания проводят по единым программам и методикам.Приемо-сдаточные испытания проводят по программе, представляющей собой выборку из программы приемочных испытаний. *Объем приемочных испытаний* должен быть минимальным, но достаточным для получения результатов, позволяющих оценить технико-экономический уровень ПР и сделать вывод о его пригодности к серийному производству. Приемочные испытания следует проводить при наиболее неблагоприятном сочетании определяемых параметров, допускаемом технической документацией (максимальные скорости и вылеты исполнительных устройств, номинальная грузоподъемность и т. д.). Основными этапами приемочных испытаний являются проверка соответствия состава и комплектности опытного образца документации и соответствия показателей ПР требованиям стандартов, техническим условиям и руководству по эксплуатации; испытание на холостом ходу; испытание под нагрузкой; проверка соответствия опытного образца нормам точности; проверка качества изготовления базовых деталей, качества сборочно-монтажных работ и внешней отделки; испытание всех принадлежностей и приспособлений; сравнительные испытания на производительность.

Особое внимание следует обращать на действие блокировок и устройств, обеспечивающих безопасную и безаварийную работу, в том числе невозможность присутствия человека в зоне работы ПР; надежность захватывания и удержания объекта манипулирования, в том числе при внезапном отключении источника энергии; правильность взаимодействия ПР с технологическим оборудованием; ограничение

максимальных перемещений исполнительного устройства. Проверку осуществляют не менее чем пятикратным включением блокировок. Грузоподъемность проверяют путем переноса в автоматическом режиме на наибольших скоростях заготовок номинальной массы. Число циклов - не менее 10. Цикл работы должен включать максимальные перемещения по всем координатам при наиболее неблагоприятном сочетании переносных движений. Визуально контролируются возможность осуществления всех движений, отсутствие выпадания и проскальзывания заготовок, отсутствие поломок и неисправностей исполнительного устройства. Средние и максимальные скорости перемещений поверяют при работе в автоматическом режиме путем фиксирования:

• при определении средних скоростей- времени двойного хода (вперед-назад, вверх-вниз, по часовой стрелке - против часовой стрелки) при максимальных перемещениях с заготовкой номинальной массы без выдержек времени в конце ходов. Число двойных ходов по каждой степени подвижности - не менее пяти;

• при определении максимальных скоростей - времени перемещения на отрезке пути после окончания разгона и перед началом торможения.

Исходя из замеренного времени перемещений рассчитывают средние максимальные скорости.

Погрешность позиционирования проверяют одним из следующих методов:

• путем установки вала, удерживаемого захватом, в неподвижную втулку с горизонтальной или вертикальной осью. Разность диаметров вала и втулки должна соответствовать паспортной погрешности позиционирования. На валу и втулке не допускается наличие фасок;

• определением погрешности позиционирования в двух взаимно перпендикулярных плоскостях с помощью индикаторов часового типа, установленных в точках позиционирования. Погрешность позиционирования в каждой из плоскостей, определяемая по разности показаний индикаторов, не должна превосходить паспортного значения. По обоим из указанных методов погрешность позиционирования должна определяться для одной из точек рабочего пространства. Координаты точки указываются в методиках испытаний конкретных ПР. Проверка осуществляется в автоматическом цикле с заготовкой номинальной массы при наибольших паспортных скоростях. Программа должна

включать движение по всем координатам и остановку в конце цикла на время, необходимое для снятия показаний (для второго метода).

Проверки норм точности следует выполнять после испытания на холостом ходу и в работе в соответствии с внутризаводскими приемо-сдаточными нормами. При указанных проверках отклонения от прямолинейности при осуществлении движений измеряют в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. В зависимости от исследуемых показателей программа *исследовательских испытаний ПР* включает: статические испытания, динамические испытания, испытания на надежность, прочие испытания (по усмотрению разработчика). При проведении испытаний на надежность исследуют свойства ПР, предусмотренные ГОСТ 27.002-83 (безотказность, долговечность, ремонтопригодность и др.). *Периодические испытания* проводят с целью сравнения качества серийных образцов, выпущенных в разное время. Периодическим испытаниям подвергают образцы, выдержавшие приемо-сдаточные испытания. Периодические испытания выполняют по программе приемочных испытаний, изложенной выше. Рекомендуемая периодичность испытаний - не реже одного раза в 2-3 года. *Аттестационные испытания* должны, как правило, совпадать с проведением ближайших по сроку периодических испытаний. *Типовые испытания* проводят с целью оценки эффективности изменений, внесенных в серийные образцы. Их проводят по программам и методикам, разработанным в соответствии с требованиями приемочных и исследовательских испытаний в объеме, необходимом для проверки функциональной работоспособности измененной составной части ПР и оценки влияния этой части на работу ПР в целом. Типовые испытания не проводят, если внесенные изменения не меняют функциональной работоспособности ПР (например, изменение конструкции крышки, замена комплектующего изделия на равноценное и т. п.). Общие правила приемки и методы испытаний ПР регламентируются ГОСТ 26053-84.

Испытания мобильных роботов для работы в экстремальных условиях проводятся по проходимости и постоянству скорости перемещения в соответствии ГОСТ Р60.6.3.9 – 2019.

Наземные роботы для работы в экстремальных условиях должны обеспечивать проходимость рельефа местности с разными видами препятствий. Требования по проходимости включают преодоление тре-

щин, барьеров, лестниц, уклонов, перемещение по разным видам поверхностей полов и почвы, а также по ограниченным проходам. Кроме того, к дополнительным требованиям к проходимости роботов относят способность двигаться с максимальной поддерживаемой скоростью и возможность буксировки. Стандартные методы испытаний необходимы для оценки соответствия этим требованиям испытуемых роботов. Испытательный комплект по проходимости обеспечивает количественную оценку рабочих характеристик наземных мобильных роботов, действующих в экстремальных условиях. Заказчики испытаний могут применять весь испытательный комплект или его часть, основываясь на своих технических требованиях. Результаты испытаний должны в совокупности представлять общую оценку проходимости наземного робота для работы в экстремальных условиях. Эти данные могут быть использованы при выборе роботов или при проведении приемочных испытаний роботов, предназначенных для работы в экстремальных условиях. Заданием для данного метода испытаний, состоящего в передвижении мобильного робота с максимальной поддерживаемой скоростью по ровной поверхности с твердым покрытием, является перемещение робота из исходной позиции по заданному маршруту обратно на исходную позицию, обеспечивая при этом возможность последовательного повторения испытательных попыток. По умолчанию маршрут должен иметь форму восьмерки вокруг двух стоек. Робот должен постоянно следовать вдоль заданной линии маршрута, поддерживая постоянно некоторую часть мобильного шасси на этой линии. Выполнение данного задания характеризует способность робота перемещаться по поверхности данного типа с поддерживаемой скоростью. Требуемое число успешных попыток выполнения задания в зависимости от общего числа попыток определяют на основании заданных заказчиком испытаний статистической надежности и доверительной вероятности данной способности робота. Полученная в результате испытаний средняя расчетная скорость считается скоростью, которую способен поддерживать данный робот. Для испытаний робота должно быть использовано телеуправление из указанного руководителем рабочего места оператора с помощью операторского пульта управления. Рабочее место оператора должно быть расположено и оборудовано так, чтобы изолировать оператора от прямого визуального и звукового контакта с испытательным оборудованием и роботом. Оператор

может провести тренировку до начала испытаний. Он также может отказаться от проведения испытаний до их начала. В ходе испытания не должно быть общения между оператором и руководителем испытаний, кроме команды начать испытание и сообщений о неисправностях робота или нарушении мер безопасности. Оператор несет полную ответственность за определение того, завершил ли робот и когда завершил очередную попытку, и за уведомление об этом руководителя. Решение о выполнении очередной попытки принимает только руководитель испытаний. Показателем для данного метода испытаний является полнота отработки заданного маршрута, успешно преодоленного за заданное число последовательных попыток. Кроме того, затраченное время на успешное перемещение по маршруту или расчетная скорость в метрах в минуту является показателем эффективности робота, простоты использования операторского пульта управления и уровня мастерства оператора. Поэтому данный временной аспект является вторым показателем, и его значение должно быть зафиксировано в протоколе испытаний. Средняя расчетная скорость, полученная в результате испытаний, принимается за скорость, которую способен поддерживать данный робот.

4.2. Определение технических характеристик ПР при испытаниях

К основным характеристикам, исследуемым при испытаниях ПР, относятся: грузоподъемность, быстродействие, быстроходность, зона обслуживания, погрешность позиционирования или воспроизведения заданной траектории, инерционные нагрузки. Первые пять из них являются взаимозаменяемыми, что учтено при построении методики. В частности, грузоподъемность робота, которая характеризуется максимальной массой груза, перемещаемого захватным устройством, существенно зависит от заданных точности позиционирования и быстроходности, а также от вылета руки, т.е. геометрии.

Грузоподъемность определяется путем измерения установленной в захватном устройстве массы груза при заданной быстроходности и мощности привода, допустимой нагрузке на детали механизмов и обеспечении требуемой точности позиционирования. Зависимость грузоподъемности от быстроходности часто отражается в паспортных

данных путем указания грузоподъемности при нормальной и пониженной скоростях.

Быстродействие робота, характеризуемое временем движения рабочего органа на заданную величину хода, определяется:

1) по измерениям величин скорости, ускорения и малых перемещений в конце хода;

2) по измерениям непосредственно временных интервалов.

В первом случае характерные участки движения, определяемые по измерениям параметра скорости, уточняются по измерениям величин ускорений и малых перемещений. Быстродействие зависит не только от скорости, задаваемой приводом, но и от величины и направления перемещения, грузоподъемности и сил демпфирования. От величины этих параметров зависит время, затрачиваемое на доведение до заданного уровня колебаний в конце хода. Допустимые амплитуды колебаний определяются требованиями технологического процесса (операции), выполняемого роботом, условиями захватывания перемещаемой детали и т.п. Допустимый уровень ускорений руки при захвате объекта ограничивается в случаях перемещения сосудов с жидкостью и при захвате нежестких деталей, когда возникающие инерционные нагрузки могут привести к повреждению зажимаемых деталей, и в других подобных случаях.

Быстроходность является производной характеристикой. Она рассчитывается по быстродействию с учетом заданной величины перемещения. При оценке этой характеристики необходимо определить допустимый диапазон изменения средних скоростей рабочего органа с учетом факторов, влияющих на него в наибольшей степени. На быстроходность и быстродействие наиболее сложное влияние оказывают характер изменения скорости движения и колебание узла после окончания его перемещения. Сокращение общего времени перемещения приводит не только к повышению быстродействия, но и к понижению точности работы робота и возрастанию динамических нагрузок. Для каждой конструкции при испытаниях необходимо находить наилучшее соотношение составляющих времени, позволяющих не допустить динамических перегрузок и снижения точности.

Зона обслуживания робота характеризуется рабочим объемом, который ограничивается траекторией движения между конечными

точками всех возможных поступательных и вращательных перемещений рабочего органа, всех его длин ходов и углов поворота для региональных движений. При экспериментальном определении обслуживаемого пространства ПР вначале производится оценка паспортного значения допустимой длины хода и угла поворота по. всем степеням подвижности. Величины ходов исполнительных механизмов, предусмотренные конструкцией робота, в ряде случаев не могут быть полностью реализованы при некоторых соотношениях грузоподъемности и быстроходности из-за возникновения сильных колебаний руки, препятствующих выполнению заданной операции. В случае не достижения при максимальных вылетах рабочего органа заданной точности позиционирования следует определить, при каком вылете руки (радиусе поворота) и данной нагрузке погрешности снижаются до допустимых. Таким же образом для нескольких значений нагрузок получают данные для расчета действительного объема зоны обслуживания.

Для предупреждения столкновения с периферийным оборудованием при определении зоны обслуживания необходимо оценить и неиспользованную зону, зависящую от конструктивного исполнения ПР. При этом величина отношения объема зоны обслуживания к объему неиспользуемой зоны может служить показателем, который характеризует эффективность применения испытуемой конструкции ПР для данного техпроцесса.

Погрешность позиционирования является одной из основных характеристик ПР, определяющей их точностные свойства. Под погрешностью позиционирования δ_D понимается отклонение действительного положения исполнительного органа ПР X_i от запрограммированного $X_{прог}$ при его многократном двухстороннем позиционировании в различных точках по пути перемещения по каждому из направлений движения. Погрешность позиционирования формируется всем комплексом - механической частью и системой управления ПР и зависит от погрешности блоков и элементов системы управления, погрешности привода, жесткости руки, жесткости и динамических свойств механизмов позиционирования, сил демпфирования и других факторов. Погрешность позиционирования должна определяться в общем случае для различных положений рабочего органа в зоне обслуживания при заданных соотношениях грузоподъемности и быстроходности (с учетом прогиба руки манипулятора), которые изменяются в зависимости от

значений масс объектов манипулирования и перемещений рабочего органа в радиальном направлении.

В связи с тем, что при расчете погрешности позиционирования приходится иметь дело со случайными величинами, меняющими свое значение при каждом испытании, для оценки погрешности позиционирования необходимо использовать методы статистического анализа. При этом величина δ_D определяется следующими статистическими показателями:

а) алгебраической разностью наибольшего и наименьшего (во всем диапазоне перемещений) средних арифметических значений отклонений фактических положений рабочего органа от запрограммированных $x_{прог}$. Этот показатель характеризует накопленное отклонение;

б) значением рассеяния отклонений Dx при многократном подходе рабочего органа к запрограммированному положению (отклонение рабочего органа от заданного положения). Этот показатель характеризует среднее квадратическое отклонение.

Накопленное отклонение $\Delta\overline{X}$ представляет собой разницу средних значений действительных позиций рабочего органа, образующуюся при подходе его к заданной координате на оси различных направлений (с правого $\overline{X}_{пр}$ и левого $\overline{X}_{л}$ направлений). Данная величина позволяет определить среднее отклонение рабочего органа, проявляющееся при позиционировании запрограммированного положения.

Среднее квадратическое стандартное отклонение DX характеризует диапазон отклонений координат рабочего органа от средней действительной координаты, возникающей при подходе к запрограммированной заданной координате с правой ($DX_{пр}$) или левой ($DX_{л}$) стороны. Эта величина позволяет установить, в каком диапазоне ожидаются отклонения действительных координат рабочего органа от средней действительной координаты, если заданная координата позиционируется в одном направлении.

При сокращенных испытаниях погрешность позиционирования рассчитывают для одной из точек зоны обслуживания. Выбор метода определения погрешности позиционирования зависит от типа системы управления, которой оснащен ПР. Для ПР с позиционной системой управления погрешность позиционирования оценивается по величине

погрешности, подвода захвата в заданную точку при многократном повторении цикла. Для этого в заданную точку рабочего пространства устанавливается измерительный прибор для определения малых перемещений и снимается серия замеров при подходе руки робота к заданной точке. При измерениях применяются контрольные тела, закрепляемые на фланце захватного устройства или в самом захватном устройстве. Используются контрольные тела, имеющие форму шара, куба, цилиндра, призмы, линейки, и сложные тела, позволяющие более точно определить угловые смещения. Число приборов или датчиков перемещения и зависимости от задач измерений изменяется в пределах 1÷6. Измерения проводятся для движений руки по всем программируемым координатам в нескольких точках рабочего пространства. Для последующей статической обработки целесообразно, чтобы каждая серия измерений включала не менее 10 замеров. Обработка результатов измерений производится статистическими методами в предположении, что случайные отклонения от заданного положения подчиняются закону нормального распределения Гаусса. Замеры производятся в автоматическом режиме работы ПР.

Для ПР с контурной системой управления задача контроля точности отличается большей сложностью и заключается в следующем. В процессе обучения ПР задаваемая вручную пространственная траектория воспроизводится автоматически. Требуется определить отклонения заданной траектории от фактической δ_D, воспроизведенной ПР. Данная величина характеризуется:

а) отклонением действительной средней траектории от запрограммированной заданной (погрешность траектории);

б) колебанием (разбросом) действительной траектории вокруг средней (погрешность перемещения).

Оба эти значения объединяются понятием отклонения заданной траектории от фактической.

Используются различные методы и схемы измерительных устройств для решений этой задачи. При использовании метода контроля точности воспроизведения пространственной кривой, основанного на использовании специальной измерительной головки, головка оснащена двумя индуктивными датчиками малых перемещений и крепится к рабочему органу ПР. Во время обучения измерительная головка перемещается на определенном расстоянии вдоль проверяемой

линии. Это перемещение регистрируется системой управления. При автоматическом воспроизведении траектории производят сравнение (с помощью ЭВМ) фактического и запрограммированного перемещений. С целью упрощения метода на практике проверка осуществляется путем перемещения головки вдоль призматического бруска, расположенного диагонально в пространстве. Рассмотренный метод, требующий специального измерительного стенда, может применяться, как правило, при лабораторных испытаниях ПР.

Для измерения значений отклонения заданной траектории от фактической можно использовать и датчик малых перемещений, который устанавливается в рабочем органе и перемещается по проверяемой пространственной траектории.

Для промышленных роботов, выполняющих технологические операции (например, сварочных ПР), важное значение имеет *обеспечение и оценка устойчивости перемещения* их исполнительных механизмов. Поэтому при испытаниях целесообразно определить степень и характер влияния различных факторов и параметров на неравномерность перемещения исполнительных механизмов ПР.

Оценка неравномерности перемещения исполнительных механизмов ПР, выполняющих технологические операции, в период установившегося движения может проводиться с помощью коэффициента неравномерности K_v или K_w. Значение коэффициента K_v или K_w зависит от конструкции, жесткости, качества изготовления, регулировки, смазки механизма, качества обработки и состояния направляющих, определяющих нелинейность характеристик трения. Поэтому при условии получения достаточного количества экспериментальных данных для их статистической обработки коэффициент K_v или K_w может использоваться в качестве критерия как для сравнения различных вариантов конструкции, так и для выявления дефектов изготовления и регулировки механизмов ПР.

Неравномерность движения исполнительных механизмов ПР может быть оценена также о помощью коэффициента неравномерности ускорения k_v^y или k_w^y.

Для исследования указанных выше характеристик достаточна регистрация скорости, ускорения и малых перемещений руки в конце хода. Эти параметры целесообразно регистрировать одновременно при движении по каждой координате в обоих направлениях (вверх-вниз,

вперед-назад, по часовой стрелке, против часовой стрелки). В этом случае время позиционирования связывается с заданным уровнем колебаний. Испытания проводятся в автоматическом режиме работы ПР.

При сокращенных испытаниях варьируются следующие параметры:

1. Масса груза m. Испытания проводятся на холостом ходу (m = 0) и при значениях массы груза $m = 0{,}5m_{max}$; $m = m_{max}$, где m_{max} - максимальная грузоподъемность ПР.

2. Величины перемещений по каждой степени подвижности;

а) для механизмов линейного позиционирования руки рекомендуются интервалы $0{,}2L_{max}$; $0{,}6L_{max}$; $1{,}0L_{max}$, где L_{max} - максимальный ход;

б) для механизмов углового позиционирования рекомендуются интервалы $0{,}2\Psi_{max}$; $0{,}6\Psi_{max}$; $1{,}0\Psi_{max}$, где Ψ_{max} - максимальный угол поворота.

3. Скорости перемещений и закон движения - для тех ПР, у которых это предусмотрено конструкцией. При этом величины скоростей перемещений по каждой степени подвижности рекомендуется варьировать в следующих интервалах:

а) для механизмов линейного позиционирования от $0{,}5v_{max}$ до $1{,}0v_{max}$, где v_{max} - максимальная линейная скорость;

б) для механизмов углового позиционирования от $0{,}5w_{max}$ до $1{,}0w_{max}$, где w_{max} - максимальная угловая скорость.

Для повышения достоверности результатов обработки каждое измерение целесообразно проводить не менее трех раз.

Значения временных интервалов, характеризующих длительность составляющих цикла и весь процесс в целом, можно определить, измеряя электрические сигналы в цепи управления (например, в соленоидах, реле и др.), причем наиболее просто найти время циклов. Для измерения других временных интервалов (например, времени разгона и торможения) необходимо получить информацию о моментах прохождения исполнительным устройством робота отдельных точек его хода. С этой целью вводят в схему измерения дополнительные первичные преобразователи, но это усложняет испытания и увеличивает их трудоемкость.

Временные интервалы можно получить и путем измерения скорости v (или w) исполнительного устройства робота. В этом случае характерные точки начала и конца отдельных временных интервалов уточняются по ускорениям *a* (или e) и малым перемещениям D в конце хода исполнительного механизма робота, которые регулируются вместе с его скоростью. При этом определяются:

1. Время разгона $t_р$ (как обычно, интервал времени с момента v = 0 до момента v = 0,95 v_{max}, где v_{max} - максимальная скорость движения).

2. Время установившегося движения $t_{уст}$.

3. Время торможения $t_т$ (интервал времени от конца установившегося движения до момента, когда v = 0).

4. Время успокоения колебаний $t_{усп}$. (интервал времени от конца торможения до момента, когда амплитуда колебаний исполнительного устройства робота уменьшится до заданной величины (например, до паспортного значения погрешности позиционирования).

5. Максимальные линейные v_{max} и угловые w_{max} скорости

$$v_{max} = \frac{L}{L_n} \cdot h;\ w_{max} = \frac{\Psi}{\Psi_n} \cdot h$$

где L и Ψ - заданные линейное и угловое перемещение исполнительного устройства робота; L_n и Ψ_n - линейное и угловое перемещения, определяемые путем интегрирования измеряемой скорости движения исполнительного устройства робота; h - максимальная ордината измеряемой скорости.

6. Наибольшие величины ускорений при разгоне $a_р$ и торможении $a_т$.

7. Амплитуда A и период T колебаний рабочего органа по измерениям параметров малых перемещений в конце исполнительного устройства робота.

С помощью параметров, определяемых экспериментально, рассчитываются:

1. Время движения $t_п$ без учета времени колебаний в конце хода

$$t_п = t_р + t_{уст} + t_т.$$

2. Общее время движения $T_п$ с учетом времени колебаний в конце хода

$$T_п = t_п + t_{уст}.$$

3. Средние линейные и угловые скорости без учета ($v_{ср_0}$, $w_{ср_0}$) и с учетом ($v_{ср}$, $w_{ср}$) колебаний в конце хода

$$v_{cp_0} = \frac{L}{t_n}; v_{cp} = \frac{L}{T_n};$$
$$w_{cp_0} = \frac{\Psi}{t_n}; w_{cp} = \frac{\Psi}{T_n}.$$

4. Угловое ускорение для механизмов углового позиционирования

$$\varepsilon_p = \frac{a_p}{R}; \ \varepsilon_T = \frac{a_T}{R}$$

где R - радиус установки линейного датчика ускорения.

5. Инерционные нагрузки по максимальным величинам масс ведомых звеньев M или их моментов инерции j.

$$Рир = Ma_р; Рит = Ma_т; Мир = je_р; Мит = je_т.$$

6. Частота колебаний f по намеренным величинам периода колебаний T

$$f = \frac{1}{T}$$

7. Логарифмический декремент δ затухания колебаний определяется по результатам измерения амплитуд двух последовательных колебаний A_i и A_{i+1}

$$\delta = \ln\frac{A_i}{A_{i+1}}$$

(i = 1, 2, ..., n - номер измерения).

На основании полученных данных строятся графики зависимостей между основными характеристиками ПР: $v_{ср} = f(L)$; $v_{ср} = f(m)$ и др.

8. Значения погрешности позиционирования по измерениям величин отклонения рабочего органа от заданного положения:

а) при одностороннем подходе к запрограммированной позиции (см. рис. 1) и нормальном распределении рассеяния можно определить по формулам

$$\delta_\Delta = (\overline{X}_{пр} - X_{прог}) \pm \Delta X_{пр};$$
$$\delta_\Delta = (\overline{X}_{л} - X_{прог}) \pm \Delta X_{л}$$

где $\Delta\overline{X}_{пр} = (\overline{X}_{пр} - X_{прог})$ и $\Delta\overline{X}_{л} = (\overline{X}_{л} - X_{прог})$ - накопленная погрешность при правом и левом подходе рабочего органа к заданной точке:

$$\overline{X}_{пр} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} X_{iпр} \text{ и } \overline{X}_{л} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} X_{iл}$$

- среднее арифметическое значение действительного положения рабочего органа ПР при многократном одностороннем соответственно правом и левом подходе; m - число измерений; $X_{iпр}$, $X_{iл}$, $X_{прог.}$ - соответственно действительное при правом и левом подходе и запрограммированное положения рабочего органа ПР; $\Delta X_{пр} = \beta S_{пр}$; $\Delta X_{л} = \beta X_{л}$ - границы доверительных интервалов для принятой надежности и числа измерений m при правом и левом подходе рабочего органа:

$$S_{пр} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}(X_{iпр} - \overline{X}_{пр})^2}{m-1}};\ S_{л} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m}(X_{iл} - \overline{X}_{л})^2}{m-1}}$$

- средние квадратические отклонения от средних арифметических значений $\overline{X}_{пр}$ и $\overline{X}_{л}$ при правом и левом подходах; β - соответствующий коэффициент Стьюдента;

б) при подходе к запрограммированной позиции с двух направлений и нормальном распределении рассеяния:

$$\delta_{\Delta} = \left(\overline{X} - X_{прог}\right) \pm \left(X + \frac{\Delta U_x}{2}\right),$$

где $\Delta\overline{X} = (\overline{X} - X_{прог})$ - накопленная погрешность;

$$\overline{X} = \frac{\overline{X}_{пр} - \overline{X}_{л}}{2};\ \overline{X}_{пр} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} X_{iпр} \text{ и } \overline{X}_{л} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} X_{iл}$$

- средние арифметические отклонения при подходе рабочего органа к заданной позиции соответственно с правой и левой стороны, которые учитывают несовпадение центра рассеивания и заданного в режиме обучения исходного положения.

$X_{iпр}$ и $X_{iл}$ - результаты отдельных замеров в серии при подходе рабочего органа к заданной позиции соответственно с правой и левой стороны;

m - число измерений в серии;

$\Delta X = \frac{\Delta X_{пр} + X_{л}}{2}$; $\Delta X_{пр} = \pm\beta S_{пр}$ и $\Delta X_{л} = \pm\beta S_{л}$ - границы доверительных интервалов для принятой надежности и числа измерений m, определяемые при подходе рабочего органа к заданной позиции соответственно с правой и левой стороны;

$S_{пр} = \sqrt{\frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m}(X_{iпр} - \overline{X}_{пр})^2}$ и $S_{л} = \sqrt{\frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m}(X_{iл} - \overline{X}_{л})^2}$ - средние квадратические отклонения, определяемые при подходе рабочего органа к заданной позиции соответственно с правой и левой стороны;

β - соответствующий коэффициент Стьюдента; $\Delta U_x = (\overline{X}_{пр} - \overline{X}_{л})$ - зона нечувствительности, имеющая место при реверсе перемещения рабочего органа ПР.

9. Коэффициент неравномерности перемещения K_v или K_w :

$$K_v = 2\frac{v_{max} - v_{min}}{v_{max} + v_{min}} \text{ или } \frac{K_v}{2} = \frac{v_{max} - v_{min}}{v_{max} + v_{min}} 100\%$$

$$K_w = 2\frac{w_{max} - w_{min}}{w_{max} + w_{min}} \text{ или } \frac{K_w}{2} = \frac{w_{max} - w_{min}}{w_{max} + w_{min}} 100\%$$

где v_{max}, v_{min} и w_{max}, w_{min} - соответственно максимальные и минимальные линейные и угловые скорости движения исследуемого механизма ПР.

10. Коэффициент неравномерности ускорения K_a или K_ε:

$$K_a = \frac{a_{ср}}{a_{max}} \text{ или } K_\varepsilon = \frac{\varepsilon_{ср}}{\varepsilon_{max}}$$

где $a_{ср}$, a_{max} и $\varepsilon_{ср}$, ε_{max} - средние и максимальные значения соответственно линейных и угловых ускорений испытуемых механизмов ПР.

Конфигурация робота при проведении испытаний должна быть подробно описана в протоколе испытаний, включая все подсистемы и компоненты с их характеристиками и функциональными возможностями. Конфигурация робота, при необходимости, должна быть проверена всеми методами испытаний, установленными заказчиком испытаний, чтобы обеспечить достоверное и всестороннее определение его рабочих характеристик. При любом изменении конфигурации робота необходимо проведение повторных испытаний.

4.3. Особенности испытаний мехатронных систем

Экспериментальные исследования занимают главенствующее место среди всех способов получения информации о внутренних взаимосвязях в мехатронных системах. Под *экспериментом* принято понимать совокупность действий, осуществляемую посредством материальных средств исследования с целью получения новой информации об изучаемом объекте путем построения информационной модели, характеризующей различные его стороны и проявления. Разновидностью экспериментов являются ***испытания***, проводимые с целью контроля нахождения параметров объекта в допустимых пределах.

Испытания мехатронных систем, ярким представителем которых являются мехатронные модули металлорежущего станка с ЧПУ состоят из следующих этапов: испытания на холостом ходу и проверка паспортных данных; испытания под нагрузкой и в работе; испытания на точность; испытания на жесткость и виброустойчивость. Испытания на холостом ходу и проверку паспортных данных начинают включением минимальной скорости движения. Затем устанавливают другие скорости, включают подачу и ускоренный ход. Проверяют безотказность блокировок, действия системы смазывания, охлаждения, гидра и электрооборудования, уровень шума. При испытаниях под нагрузкой и в работе проверяют наибольшие силы (с кратковременной перегрузкой на 25%), наибольшие мощность и крутящий момент, убеждаются в безотказности действия под нагрузкой всех механизмов и систем, предохранительных устройств и тормозов.

Точность работы мехатронного модуля движения оценивают его погрешностью, т.е. разностью между действительным и расчетным положениями выходного звена. Основными причинами возникновения погрешности ММ являются погрешности системы управления и двигателя, кинематические погрешности, мертвый ход и упругие деформации элементов его преобразователей движения.

Погрешность системы управления и двигателя.

Погрешность системы управления и двигателя.

Погрешность системы управления и двигателя, приближенная к выходному звену преобразователя движения, может быть определена в виде:

$$\Delta q = \frac{\Delta\varphi_{дв}}{u}$$

u - передаточное отношение преобразователя движения; $\Delta\varphi_{дв}$ - погрешность угла поворота двигателя.

Погрешность, вызванная податливостью преобразователя движения.

Звенья преобразователя движения ММ не являются абсолютно жесткими. Под действием нагрузок они деформируются. Это приводит к изменению положения выходного звена, т.е. возникновению погрешности ММ.

$$\Delta q' = e_п Q$$

$e_п$ - приведенная податливость преобразователя движения ММ

$$Q = \begin{cases} F - \text{ сила сопротивления(Н), при линейном перемещении выходного звена} \\ T - \text{момент споротивления(Нм), при угловом перемещении выходного звена} \end{cases}$$

Погрешность мехатронного модуля.

Полную погрешность выходного звена ММ определяют в виде:

$$\Delta = \Delta q + \delta_{\Sigma} + J_{\Sigma} + \Delta q'$$

Δq – погрешность системы управления и двигателя

δ_{Σ} - кинематическая погрешность преобразователя движения

J_{Σ} - мертвый ход преобразователя движения

$\Delta q'$ - погрешность, вызванная податливостью преобразователя движения

Ошибки в мехатронных модулях движения могут быть обусловлены следующими причинами и факторами:

1) причины, связанные со схемой погрешностей, которые появляются при изготовлении механизмов (т. е. при применении схемы);

2) технологические причины, которые по линейным, т. е. геометрическим размерам разделяются на:

а) ошибки размера – отклонения размеров элементов у образца и теоретического прототипа от номинальной величины, а также ошибки между элементами, которые появляются при перемещении узлов, составляющих пару (кинематические пары);

б) ошибки формы у рабочих поверхностей тех же пар;

в) ошибки во взаимном расположении рабочих поверхностей узлов;) отклонения в шероховатости и волнистости от номинальных;

3) ошибки, вызванные силами в самом механизме (это силы деформации, трения, вибрации и прочие, а также воздействие динамических факторов (например, ударно-колебательное движение);

4) ошибки, связанные с нарушением температурного режима эксплуатации механизма, из-за изменения сопротивлений и линейных размеров в узлах.

Также выделяют следующие ошибки:

1) ошибка положения механизмов. Имеется в виду следующее: если взять два механизма, которые должны совершить некоторое согласованное действие, то несмотря на полное соответствие параметров ведущих звеньев, обнаруживается разница; эта разница и есть искомая ошибка. Эти механизмы можно себе представить как механизм действительный и его теоретический прототип, то есть под ошибкой имеется в виду несоответствие образца теоретическому прототипу**;**

2) ошибка перемещения механизмов: речь идет о несоответствии параметров ведомых узлов при тех же параметрах ведущих. Только теперь разница в перемещении, а не в положении ведомых узлов;

3) ошибка положения ведомого звена – имеется в виду та же ошибка, что и в (1), только теперь ее причина в неточности ведущих звеньев, последние часто являются последствиями неправильных вводных данных;

4) ошибка перемещения ведомого звена: то же самое, что и ошибка (2), только теперь причина в ведущих звеньях, но по той же причине, что и в (3);

5) ошибка передаточного отношения (имеется в виду разность между действительным (у образца) и теоретическим передаточными отношениями);

6) ошибка линейного передаточного отношения. Аналогично предыдущей ошибке, речь идет о разности между действительным и теоретическим линейными передаточными отношениями.

Методы определения ошибок мехатронного модуля движения

Аналитический метод – самый общий и распространенный метод обнаружения ошибок. Сопоставляются уравнения движения уже имеющегося механизма и его теоретического прототипа. Цель: получить зависимость, которая выражала бы разность движений ведомых узлов в этих механизмах, в зависимости от движения ведущего звена уже произведенного механизма. При этом значительную роль играет компьютерное моделирование с использованием динамических моделей. В итоге получается функция от ошибок схемы. Значение погрешности получают, разделив линейное перемещение нарушенного ΔS_m ведомого звена на чувствительность измерительного устройства R, и находят ошибку схемы, выраженную в:

$$\Delta S_{m\ изм} = \frac{\Delta S_m}{R}$$

Экспериментальный метод применяют в том случае, когда использование предыдущего метода становится проблематичным из-за ряда причин, например, из-за плохого знания прибора, или же когда в приборах имеются упругие узлы, не позволяющие установить линейную зависимость между искомыми величинами. В случае обнаружения дефектов подвергают исследованию группы одинаковых приборов (механизмов). После определения ряда одинаковых параметров, для которых характерны общие по роду отклонения (для этого каждая единица прибора (механизма) исследуется многократно; в одних и тех же точках, где наблюдались отклонения, определяются средние значения

параметров для каждой единицы) находят среднее значение для всей исследуемой партии. После обработки полученных данных удается определить функцию от ошибки схемы прибора (механизма). Достоинством этого метода является следующее: функцию от ошибок схемы находят, например, методом наименьших квадратов, что значит уменьшение влияния ошибок каждого механизма на общую ошибку для всей группы. Если построить кривую для рядов найденных ошибок, то она будет отражать не только искомые ошибки схемы, но и систематические, которые были допущены при изготовлении или сборке приборов.

При проведении испытаний большое значение имеют условия, при которых производят измерения. Проверку необходимо проводить при температуре +20. °С; колебания температуры не должны превышать ±0,5. Объем испытания определяется соответствующими нормами точности, предусмотренными ГОСТом.

4.4. Методы и средства диагностирования роботов и мехатронных систем

Методы диагностирования мехатронных и робототехнических систем классифицируют по следующим признакам:

- степени информативности;
- видам диагностической информации;
- степени использования технических средств;
- стадиям эксплуатации;
- глубине диагностирования.

По степени информативности выделяют следующие методы:

- метод *временных интервалов,* применяемый для анализа простоев, определения показателей надежности, контроля работы системы управления, получения циклограмм;
- метод *эталонных модулей,* основанный на сравнении экспериментальных данных или рассчитанных значений и показателей качества;
- метод *эталонных зависимостей,* основанный на сравнении измеренных диагностических параметров с эталонными диагностическими параметрами;
- спектральный *метод,* основанный на измерении составляющих сложных вибрационных или акустических сигналов;

• корреляционный *метод,* применяемый для обнаружения отклонений в характере зависимости между диагностическими параметрами (взаимная корреляция) или изменении диагностических параметров во времени (автокорреляция).

По источнику информации выделяют тестовое и функциональное диагностирование.

При тестовом диагностировании на объект подаются тестовые воздействия от средств диагностирования. При функциональном на объект поступают только рабочие воздействия.

Методы диагностирования классифицируются **по типу физических процессов**, происходящих в объекте: механический, электрический, вибрационный, ультразвуковой, ударно-импульсный, тепловой, магнитный, фотометрический и др.

Механический метод заключается в измерении геометрических размеров частей механических объектов. Он используется при определении износа.

Электрический метод заключаются в измерении электрических величин, основан на измерении электрических диагностических параметров: тока, напряжения, сопротивления, мощности.

Вибрационный метод заключается в измерении параметров вибрационных процессов – виброперемещения, виброскорости, виброускорения.

Ультразвуковой метод заключается в измерении отраженных от границ раздела двух сред направленных ультразвуковых колебаний. Он позволяет обнаруживать внутренние дефекты в крупногабаритных объектах с возможностью определения их места и размеров.

Метод ударных импульсов заключается в измерении механических ударных волн, возникающих при соударении твердых тел. Его применяют для определения состояния подшипников качения и смазки.

Тепловой метод заключается в измерении температуры объектов.

Магнитный метод заключается в измерении магнитных полей рассеивания, возникающих над дефектом, и в определении магнитных свойств диагностируемых объектов. Он используется для измерения толщины, для контроля структуры, механических свойств деталей. В

зависимости от способа измерения магнитных полей рассеивания разделяется на магнитопорошковый, магнитографический, феррозондовый, магниторезисторный, индукционный.

Фотометрический метод заключается в измерении освещенности. Используется для измерения линейных и угловых люфтов и зазоров в сопряжениях, загрязненности масел.

В настоящее время перспективными направлениями развития методов диагностирования являются приемы искусственного интеллекта, основанные на нечеткой логике, экспертных системах и нейронных сетях. Методы нечеткой логики позволяют значительно упростить описание модели объектов диагностирования, а также являются более простыми для аппаратной реализации. Экспертные системы позволяют принимать решения о состоянии объекта, если оценка состояния или поиска неисправности объекта является трудно формализуемой задачей. Нейронные сети используют для идентификации объектов, распознавания и прогнозирования состояния МС. Преимущества классификатора, построенного на основе нейронных сетей, перед традиционными оценочными методами заключается в следующих факторах: независимость от шумов, самообучаемость, возможность параллельной обработки.

Важным шагом в любом методе диагностирования является построение математической модели, дающей адекватную информацию о функционировании мехатронной и робототехнической системы.

При решении задачи моделирования в робототехнике и мехатронике возможно использование различных прикладных программ, пакетов и библиотек: Maple, Matlab, ProMechanic, AutoCad и других. Достаточно хорошие результаты при моделировании технических систем достигаются с помощью пакета Matlab. Пакет Simulink, входящий в состав системы Matlab, позволяет достаточно оперативно составлять исследуемые модели, изменять их структуру и регистрировать результаты моделирования, не прибегая к сложным программным процедурам. В последние версии пакета Simulink включена библиотека Sim Mechanics second generation, позволяющая выполнять моделирование движения различных механических систем в трехмерном пространстве в векторно-матричном виде, не прибегая к составлению сложных дифференциальных уравнений, а также библиотека Math Operations. Исходя из этого, предлагается использовать пакет Simulink в сочетании с

библиотекой Sim Mechanics second generation и Math Operations. Идеология составления блок - схем в библиотеке Sim Mechanics second generation существенно отличается от идеологии составления функциональных блок-схем библиотеки Simulink. В блок-схеме Sim Mechanics second generation отдельные блоки следует рассматривать как модели, имитирующие механическое движение одной части моделируемого механизма относительно другой. Входы и выходы блока фактически таковыми не являются, а имитируют «посадочное место» соответствующей части механизма. Линии соединения «входов» и «выходов» блоков имитируют жесткие соединения выходной части одного механизма с входной частью другого. Можно утверждать, что это соединение моделирует передачу силового воздействия между частями разных механизмов. Но поскольку в соответствии с третьим законом Ньютона сила действия равна силе противодействия, такую передачу силы нельзя рассматривать как однонаправленное воздействие. Поэтому в блок - схемах на линиях соединений механических блоков нельзя встретить изображений стрелок, указывающих направление воздействия. По той же причине графические изображения «входов» и «выходов» механических блоков имеют вид не стрелок, а квадратов с диагоналями.

«Входы» и «выходы» механических блоков нельзя рассматривать в качестве источников и приёмников, каких бы то ни было сигналов. К их соединительным линиям нельзя подсоединить обычные S-блоки, а потому нельзя и сформировать с помощью последних заданные воздействия или вывести информацию о получаемых в результате движениях механизмов (например, в обзорные окна или непосредственно в среду MATLAB). Но так как любое моделирование механизмов невозможно осуществить без указания нужных исследователю воздействий и без вывода результатов моделирования в среду MATLAB, такая идеология построения блок-схем механизмов требует включения в библиотеку блоков, осуществляющих прямую и обратную связь S-блоков с механическими блоками.

В состав библиотеки входит шесть разделов:

– Body elements (Тела) – содержит блоки, моделирующие твердые тела;

– Joints (Сочленения) – включает блоки имитации механических сочленений, обеспечивающих требуемые степени свободы одной части механизма относительно другой;

– Constraints (Связи) – состоит из блоков имитации ограничений на степени свободы механической системы;

– Frames and Transforms (система координат) – состоит из блоков систем координат;

– Utilities (Утилиты) – включает вспомогательные блоки, которые могут использоваться при создании модели механизма;

– Demos (Демонстрационные программы) – позволяет вызвать на исполнение демонстрационные модели.

При моделировании движения различных механизмов в пакете Sim Mechanics second generation предусмотрены источники сил и моментов сил (блок Extermal Force and Torque), действием которых можно управлять в функции времени или переменных состояния механизма. В то же время исследование движения характерной точки механизма по заданной траектории с использованием указанного блока вызывает значительные затруднения. Исходя из этого, поставим задачу максимального приближения модели исполнительной системы робота к реальному объекту и представим моделируемую систему в виде, изображенном на рис. 4.1.

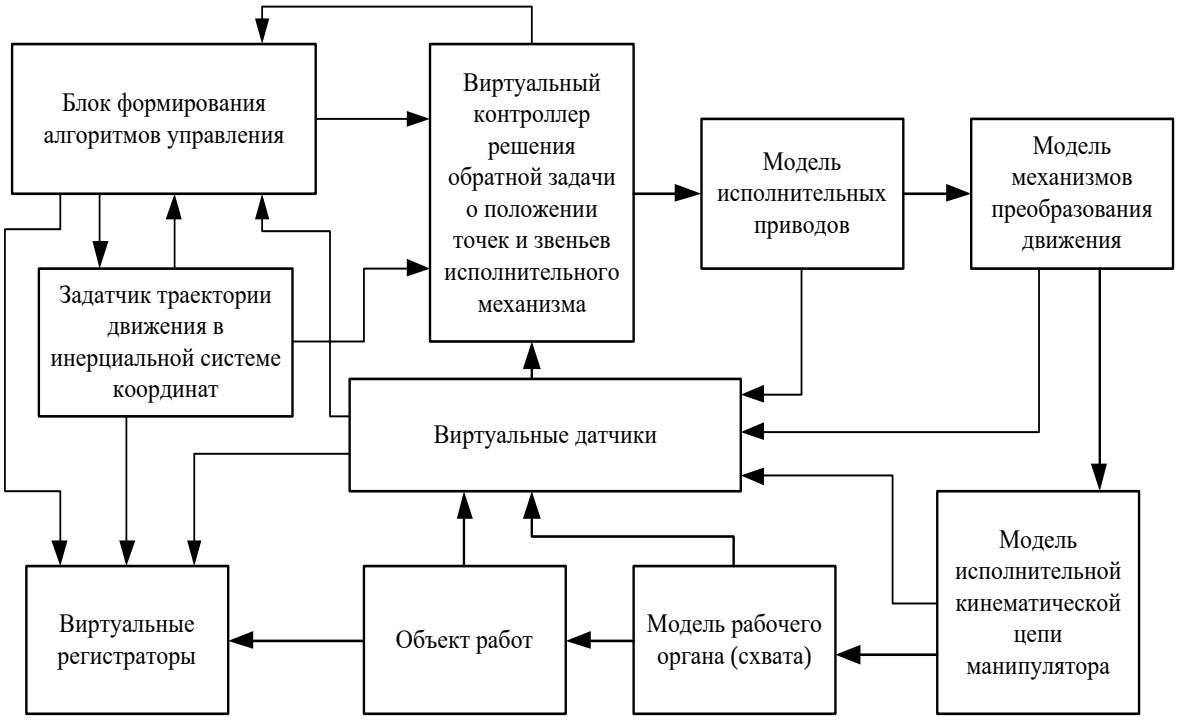


Рис. 4.1. Структурная схема модели исполнительной системы робота

Представленная структура позволит выполнить всесторонний анализ, как исполнительной системы, так и реализации различных алгоритмов управления движением манипуляторов в процессе выполнения рабочих операций. Поскольку на данном этапе выполнения работы многие параметры исполнительной системы выбираются априорно, ограничимся исследованием ее работы при движении по некоторой траектории в процессе перемещения объекта работ с позиции взятия на позицию установки. В качестве примера построения модели используем автономную исполнительную систему манипулятора, кинематическая схема которого приведена на рис.4.2.

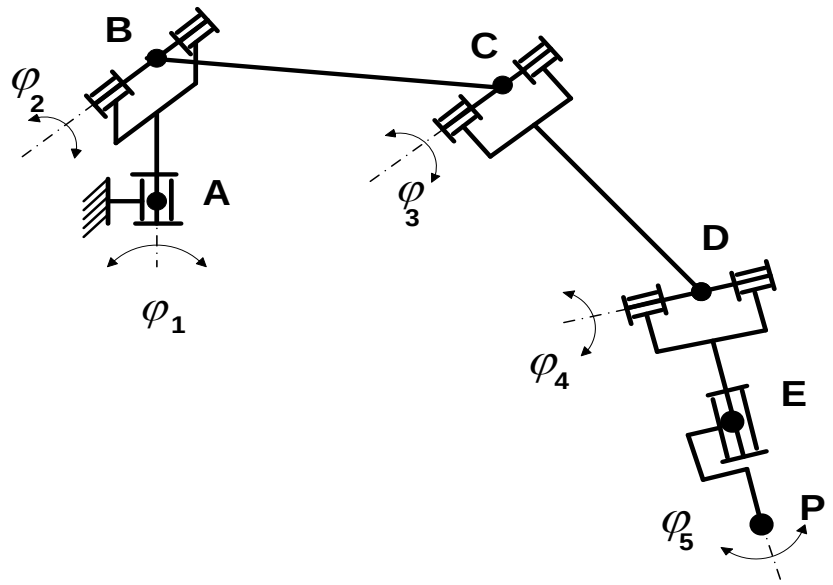


Рис. 4.2. Кинематическая схема манипулятора

При построении модели используем следующие блоки: World Frame, Solver Configuration, Mechanism Configuration, Solid, Revolute, Rigid Transform, Prismatic Joint, Transform Sensor,World Frame, Solver Configuration, Mechanism Configuration, которые являются обязательными при построении модели любого механизма. Они представляют собой неизменные точки основания (земли), неподвижные в абсолютном (инерциальном) пространстве. Движение отдельных частей механизма задаётся или определяется по отношению к системе координат, реализуемой этими блоками. На рис. 4.3. представлен вид подсистемы «Начало координат».

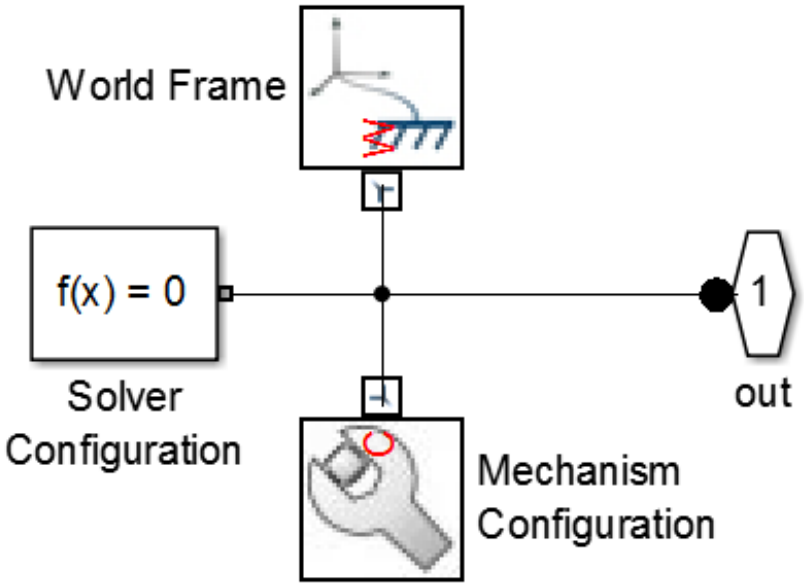


Рис. 4.3. Подсистема «Начало координат»

Блоки Revolute, Prismatic Joint, относящиеся к разделу Joints (сочленения), позволяют обеспечить возможность моделирования относительных движений тел, представленных отдельными блоками Solid, то есть необходимых степеней подвижности. Блок имеет два обязательных порта, с помощью которых он подсоединяется к двум блокам из раздела Body Elements. Порт, отмеченный индексом B (base - основной), предназначен для соединения с блоком Body, представляющим первое (основное) тело, порт с индексом F (follower- следующий) служит для подсоединения к следующему телу в связанной цепи тел, составляющих механизм. Solid - представляет отдельную часть механизма, рассматриваемую как твердое тело, движение которого моделируется. В окне настройки блока задаются масса, инерция, форма, размер и цвет объекта. Модель объекта можно импортировать из другой программы (например, «Компас»).

На рис. 4.4 представлен фрагмент построения модели из выше перечисленных блоков. Построение модели исполнительной кинематической цепи манипулятора производится в пространстве правой инерциальной системы координат XYZ. В состав модели входит 5 звеньев и 5 цилиндрических шарниров, при этом оси шарниров расположены вдоль осей Z относительных систем координат.

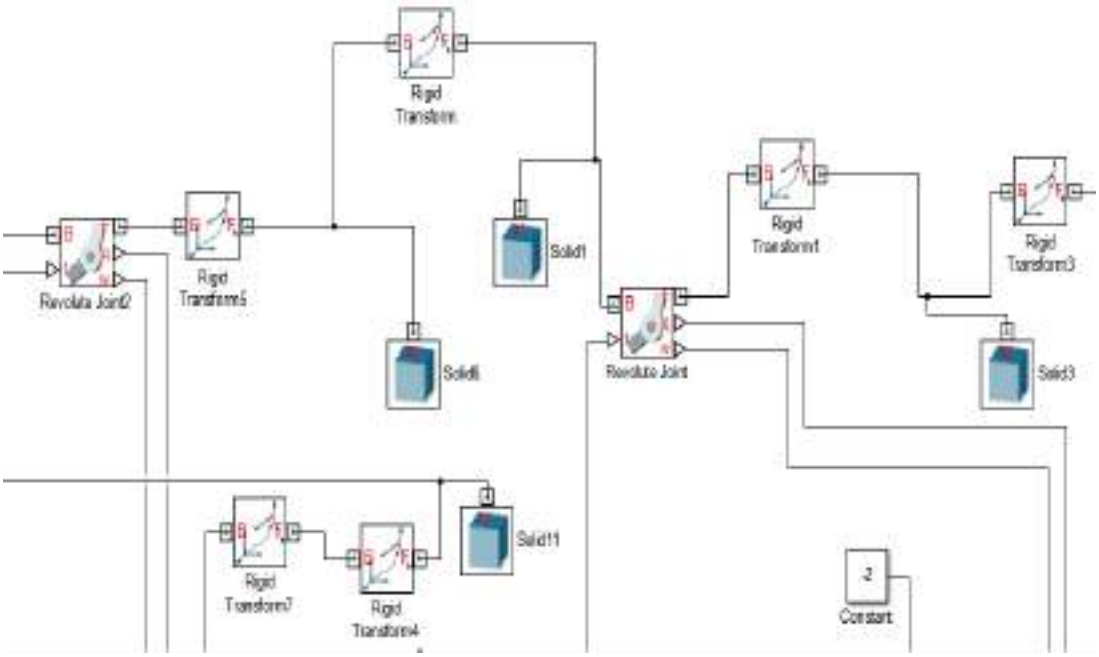


Рис. 4.4. Фрагмент построения модели

Величины масс звеньев примем в соответствии с выражением: $m_i = к \cdot m_г$, где m_i- масса i - го звена, считая от основания; к- коэффициент; $m_г$-грузоподъемность манипулятора. Значения коэффициента к равны 2; 6; 4,5;3 и 2 соответственно. На рис. 4.5 приведена модель обобщенной исполнительной кинематической цепи манипулятора, построенная в соответствии с изложенным выше.

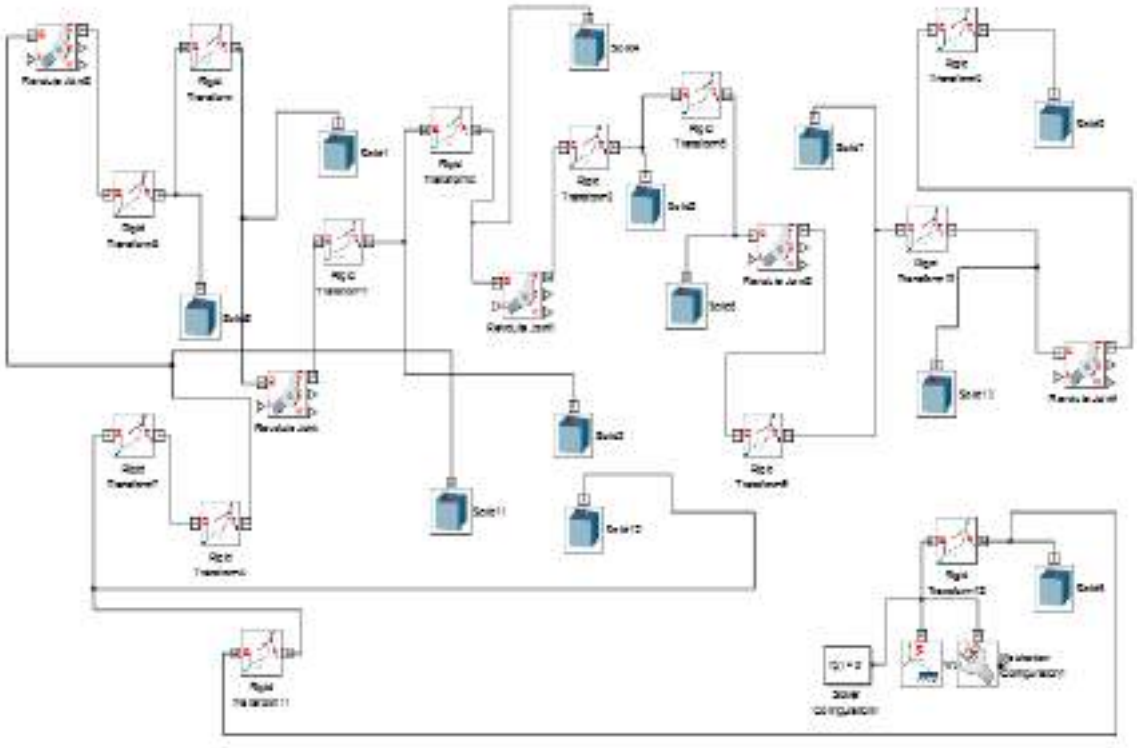


Рис. 4.5. Модель исполнительной кинематической цепи манипулятора

На рис. 4.6 представлена анимация модели обобщенной исполнительной кинематической цепи манипулятора.

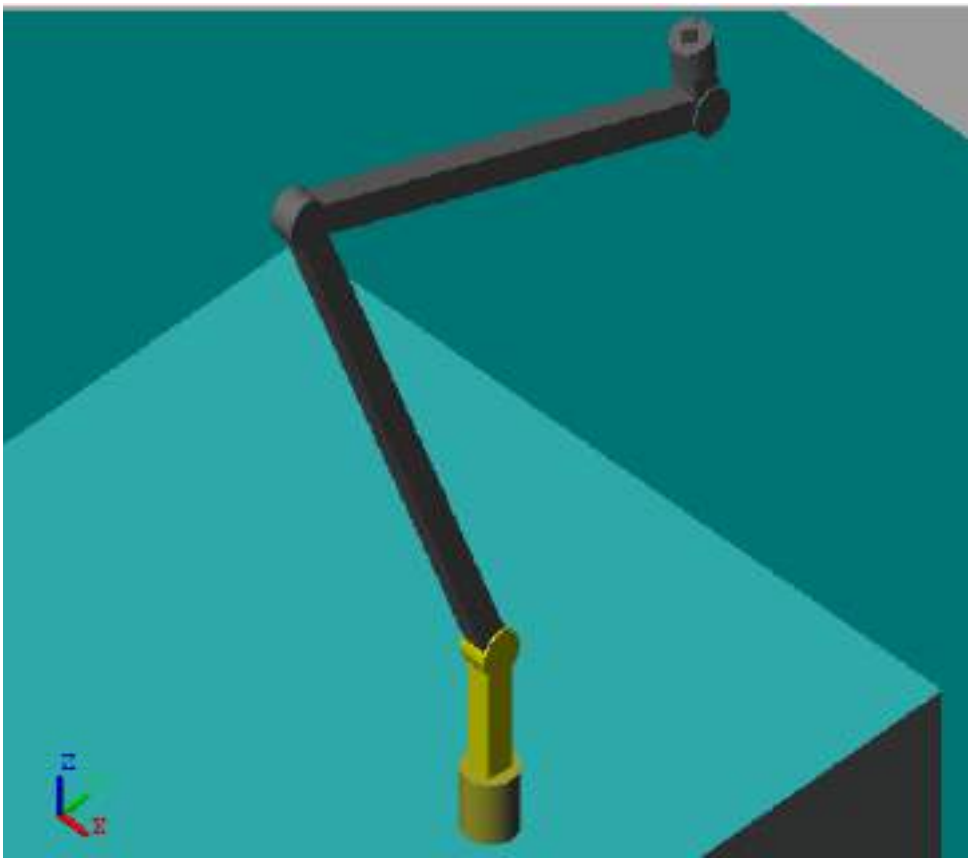


Рис. 4.6. Анимация модели исполнительной кинематической цепи манипулятора

В качестве рабочего органа манипуляторов выберем схват с плоскопараллельным движением губок, схема которого приведена на рис.4.7.

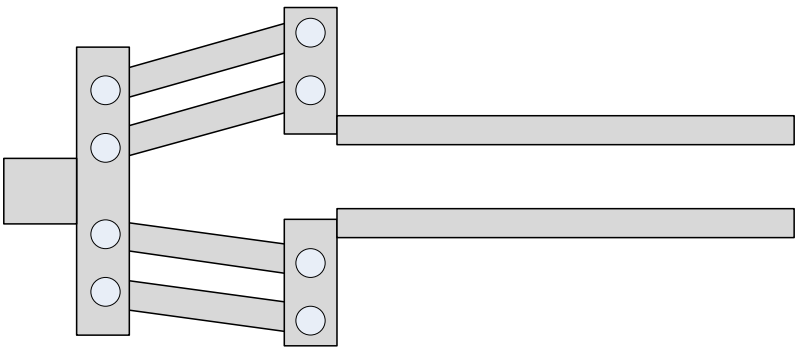


Рис. 4.7. Схема схвата

На рис. 4.8 представлена компьютерная модель механизма схвата, а на рис. 4.9 – ее анимация.

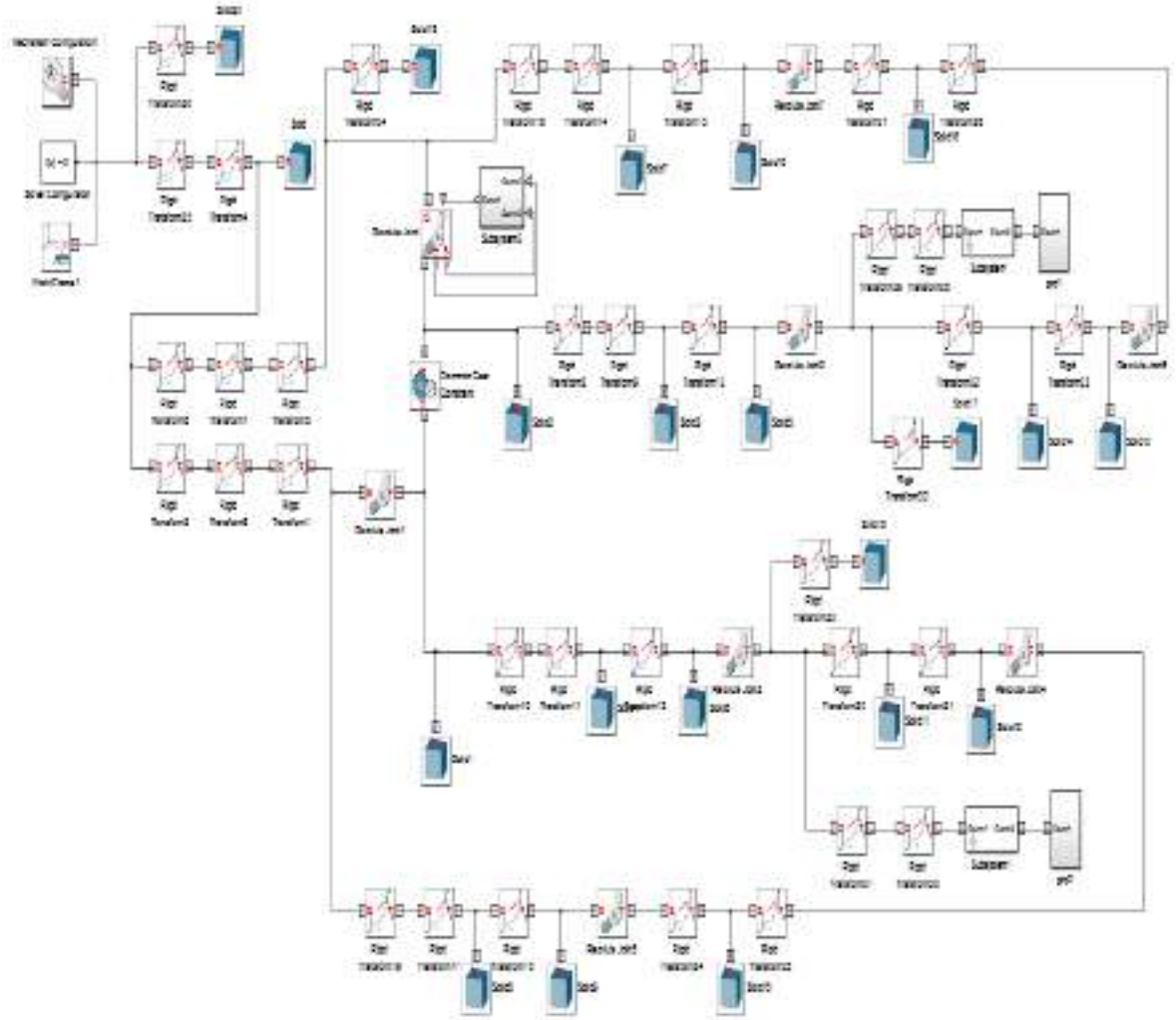


Рис. 4.8. Компьютерная модель механизма схвата

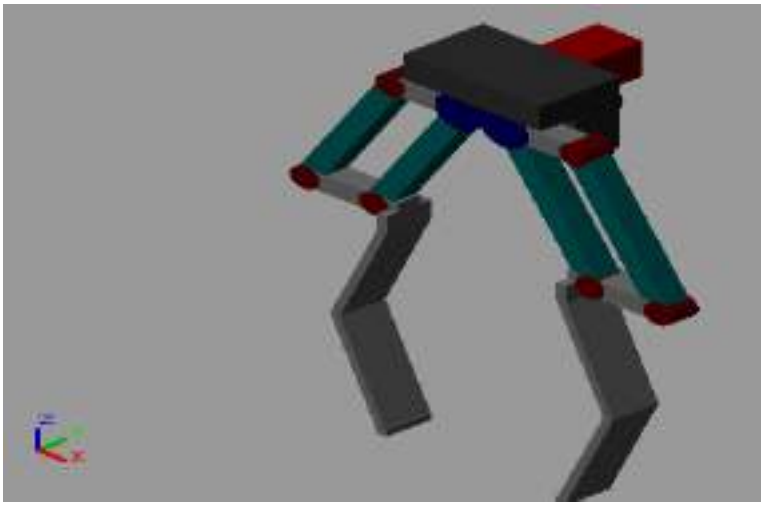


Рис. 4.9. Анимация модели механизма схвата

Процедура диагностирования объекта включает два этапа: проверку его работоспособности и поиск дефекта. Поэтому основной задачей технического диагностирования (ТД) является поддержание работоспособности объекта путем своевременного распознавания отказов и устранения причин их появления. По характеру взаимодействия объекта и технических средств можно выделить два метода ТД:

- функциональное диагностирование;
- тестовое диагностирование.

Первый метод основан на пассивном наблюдении за функционированием объекта и оценке его состояния по диагностическим признакам (например, уровень температуры, шумов или вибрации, величина потребляемой энергии, время выполнения цикла).

Второй метод предусматривает формирование специального воздействия, стимулирующего у объекта ответную реакцию, которая сравнивается с эталонной (активный эксперимент). Роль стимулирующего воздействия выполняют ступенчатые, импульсные, гармонические и другие сигналы.

В качестве диагностических показателей используются параметры динамических звеньев, коэффициенты уравнений, обобщенные параметры.

Типовой алгоритм системы поддержания работоспособности объекта (СПРО) имеет вид:

- сбор информации;
- оценка информации и выявление отклонений показателей от нормы;
- определение причины отклонения:
- принятие решения и выработка корректирующего воздействия (КВ);
- ввод КВ в систему с целью ликвидации отклонения.

Первые два этапа – операции контроля, третий – диагностирование.

Эксплуатируемый объект (система) подвержен как внезапным (случайным), так и постепенным (износ, старение) отказам. Если состояние объекта характеризовать обобщенным выходным параметром Пр, то в случае внезапного отказа $П_Р$ принимает лишь два значения: Пр = Пн (норма) или Пр = Пот (отказ) (рис. 4.10).



Рис. 4.10. Зоны работоспособности технической системы (объекта)

Пр – обобщенный показатель системы; Пэ – эталонное значение Пр; Пэр – то же в зоне риска; Ппр – предельное значение Пр; Пот – значение Пр в зоне отказа.

В качестве параметра Пр используют различные технические характеристики: температуру, размер объекта, величину износа узла (или инструмента), сигнал конечного выключателя и т. п. В случае постепенных отказов можно реализовать мероприятия по предотвращению отказа, если вовремя зафиксирован переход параметра Пр от нормы в зону риска. В информационной структуре системы поддержания работоспособности объекта (рис. 4.11) можно выделить следующие подсистемы:

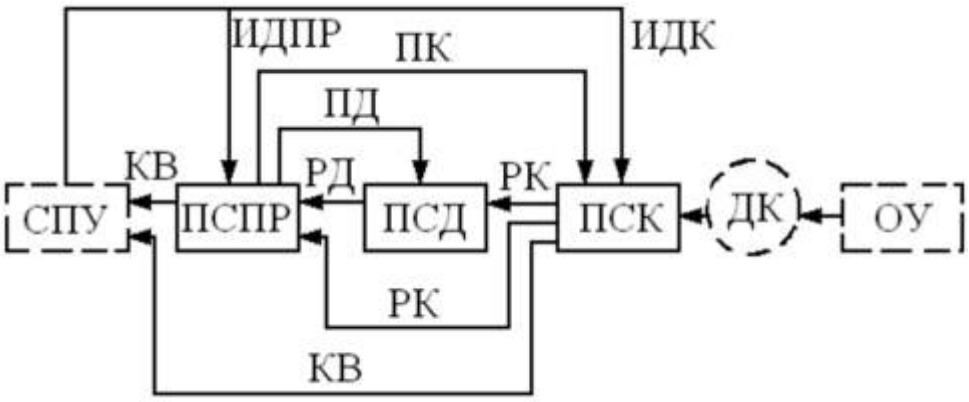


Рис. 4.11. Информационная структура системы поддержания работоспособности объекта

ПК,ПД - программы контроля и диагностирования, соответственно; РК, РД – результаты контроля и диагностирования; ИДК-исходные данные для контроля; ИДПР - исходные данные для принятия решений: контроля ПСК, диагностирования ПСД и принятия решений ПСПР.

Информация об объекте управления ОУ отдатчиков контроля ДК поступает на вход ПСК, которая обрабатывает ее, рассчитывает значения обобщенного параметра $П_Р$ и сравнивает их с эталонным. По результатам сравнения ПСК формирует сигнал об отклонении $П_Р$ от нормы, который подается в зависимости от ситуации в систему программного управления СПУ или в ПСПР. В случае угрозы аварийной ситуации СПУ вырабатывает блокировочный сигнал останова системы для ремонта. При отсутствии угрозы аварии ПСПР вырабатывает корректирующее воздействие КВ, которое передается в СПУ для осуществления подналадки системы.

Средства диагностики технического оборудования служат для фиксирования и измерения величины диагностических признаков (параметров). Для этого применяют приборы, приспособления и стенды сообразно характеру диагностических признаков и методам диагностики. Значительное место среди них занимают электроизмерительные приборы (вольтметры, амперметры, осциллографы и др.). Они широко применяются как для непосредственного измерения электрических величин (например, при диагностике систем зажигания и электрооборудования автомобиля), так и для измерения неэлектрических процессов (колебаний, нагрева, давления), преобразованных при помощи соответствующих датчиков в электрические величины. Для этой цели электрические измерительные приборы снабжают датчиками. При диагностике механизмов наиболее часто используют: датчики сопротивления, концевые, индукционные, оптические и фотоэлектрические датчики, при помощи которых можно измерять зазоры, люфты, относительные перемещения, скорость и частоту вращения проверяемых деталей; термосопротивления, термопары и биметаллические пластины для изме-

рения теплового состояния деталей; пьезоэлектрические и тензометрические датчики для замера колебательных процессов давления, биений, деформаций и др. Одно из положительных качеств электроизмерительных приборов - удобство получения информации, а также в перспективе возможность ее анализа при помощи счетно-решающих устройств. В зависимости от полноты и степени механизации технологических процессов диагностику можно проводить выборочно, только для контроля технического состояния отдельных сборочных единиц, или комплексно для проверки сложных агрегатов, таких как двигатель, и, наконец, комплексно для диагностики машины в целом. В первом случае используются для отдельных измерений такие диагностические приборы как стетоскопы, манометры, тахометры, вольтметры, амперметры, секундомеры, термометры и другие переносные приборы. Во втором случае приборы комбинируют в виде передвижных стендов, в третьем случае – ими комплектуют датчики и пульты управления стационарных стендов. Основными требованиями к средствам диагностики являются: обеспечение достаточной точности замеров, удобство и простота использования при минимальной затрате времени. Помимо различных приборов, индикаторов узкого назначения, в систему диагностических средств включают комплексы электронной аппаратуры. Эти комплексы могут состоять из датчиков – органов восприятия диагностических признаков, блоков измерительных приборов, блоков обработки информации в соответствии с заданными алгоритмами и, наконец, блоков хранения и выдачи информации в виде запоминающих устройств для преобразования информации в удобный для использования вид.

4.5. Испытания мехатронной системы металлорежущего станка

В качестве примера проведения испытаний мехатронных систем приведем фрагменты процесса испытаний вертикально фрезерного станка с ЧПУ, вид которого представлен на рис. 4.12.

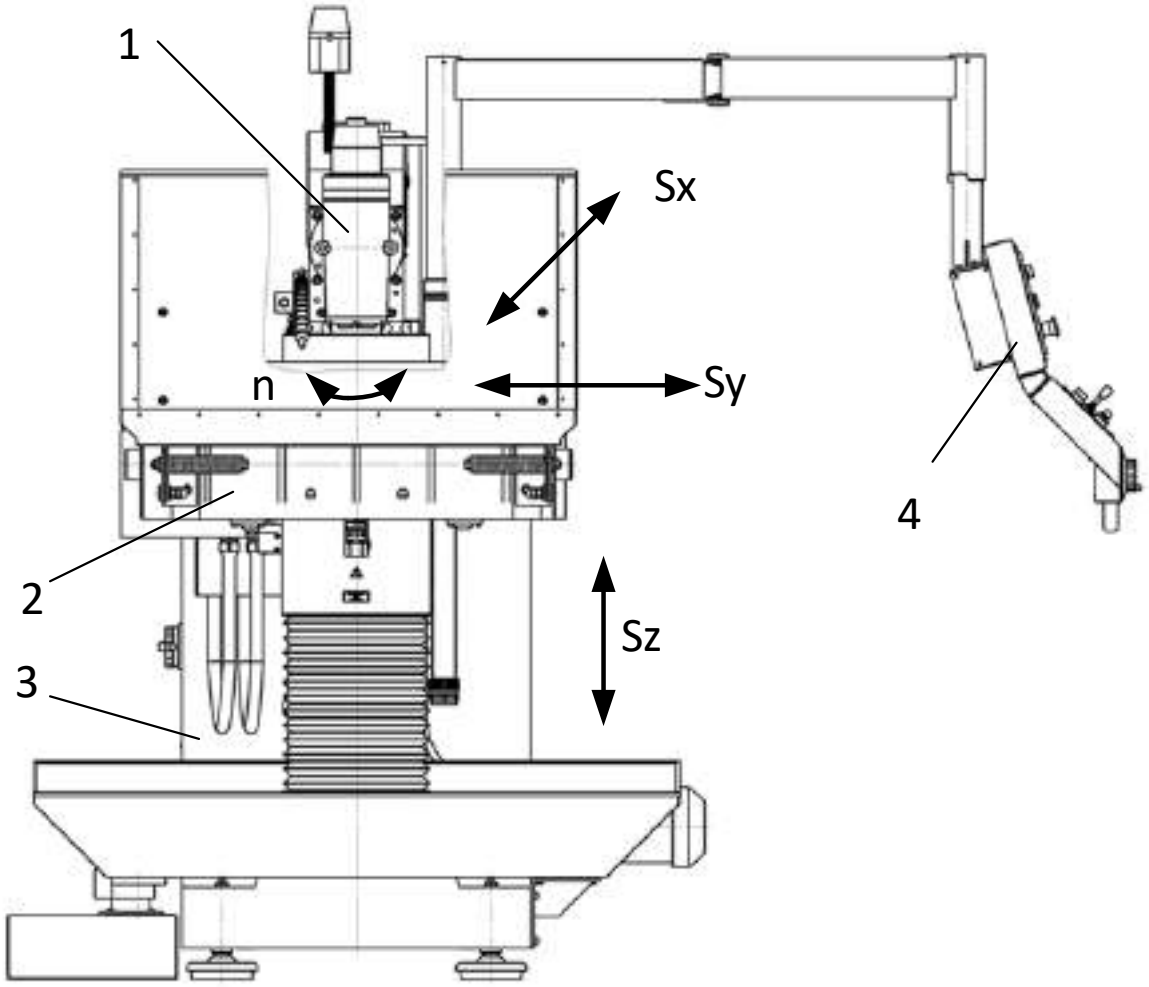


Рис. 4.12. Вид вертикально фрезерного станка с ЧПУ

Здесь обозначено: 1- шпиндельный узел: 2 – стол; 3 – станина; 4 – выносной пульт; n – частота вращения шпинделя; Sx- горизонтальное перемещение шпинделя; Sy – горизонтальное перемещение стола; Sz – вертикальное перемещение стола.

Испытание станка на холостом ходу

Проверку основных технических характеристик и испытание станка на холостом ходу проводится согласно таблице 4.2.

Таблица 4.2

Методы и результаты проверки

Что проверяется	Метод проверки	Результат проверки
1 Соответствие требованиям комплекта конструкторской документации	В процессе изготовления и приемки путем внешнего осмотра станка и его составных частей, сличения их с конструкторской документацией на станок и нормативно-техническими документами, указанными в документации и в настоящих технических условиях, и измерением размеров и других нормируемых параметров средствами и методами, обеспечивающими требуемую точность	Соответствие требованиям конструкторской документации на станок и нормативно-технической документации
2 Установка станка	Измерение проводить уровнем. Уровень рамный 200-0,02 устанавливать на середине стола параллельно и перпендикулярно его перемещению	Отклонение не более 0,04 мм/м
3 Разводка жгутов внутреннего монтажа	Внешним осмотром и сличением со схемой 49ХХХ.000.00.00.000Э3 и чертежом 49ХХХ.090.00.00.000СБ	Установка, закрепление, разводка и заделка соединений жгутов внутреннего и соединительного монтажа должны соответствовать требованиям схемы и чертежа
4 Наличие заземляющих винтов и знаков заземления по ГОСТ 21130	Визуально определить наличие заземляющих винтов и знаков заземления	Винты и знаки должны быть

5 Наличие и исправность цепи заземления	Измерением сопротивления между шиной заземления, находящейся в электрошкафу 49XXX.061.00.00.000, и перечисленными ниже составными частями станка, на которых установлено электрооборудование и которые в результате пробоя изоляции могут оказаться под напряжением 42 В и выше: 1) суппортом; 2) станиной; 3) корпусом горизонтального шпинделя; 4) корпусом насоса центробежного; 5) корпусом гидростанции; 6) пультом управления. Перед началом проверки провода, подключенные к миллиоммметру, замкнуть накоротко и замерить их собственное сопротивление. Полученную величину собственного сопротивления при определении результата вычитать из замеренного. Измерение проводить миллиомметром Е6-18	Сопротивление не должно превышать 0,1 Ом для каждой проверяемой точки
6 Основные	Измерением: 1) штангенциркулем ШЦ III-400-01 – по п.п. 2, 4, 14, 16 и 26 таблицы 1.1; 2) штангенциркулем ШЦ III-800-01 – по п.п. 3, 5 и 14 таблицы 1.1; 3) линейкой 1000 – по п.п. 12, 13, 21 и 22 таблицы 1.1; 4) рулеткой ЗПК-2-5-АНП/1 – по п. 27 таблицы 1.1; 5) динамометром ДОСМ-3-2 – по п.п. 28 и 29 таблицы 1.1	Соответствие данным, указанным в настоящих технических условиях
7 Работа системы смазки	Наблюдением во время обкатки	Все точки смазки должны обеспечивать хороший доступ масла к смазываемым местам. Утечки не допускаются

8 Работа системы охлаждения	Наблюдением во время обкатки	Равномерная подача Течь из соединений не допускается
9 Работа органов управления	Пятикратным включением, переключением органов управления (кнопок, рукояток, переключателей и т.д.) на пульте станка	Утапливание кнопок, их возврат в исходное заданное положение переключателей должны осуществляться без заеданий и задержек, не должна происходить задержка в нажатом положении кнопок, не имеющих фиксации в этом положении
10 Соответствие действия органов управления символам, надписям и назначению	Включением, выключение и переключением органами управления всех движений и состояний станка	Действие органов управления должно соответствовать заданному движению подвижных органов или состоянию станка
11 Проверка частоты вращения шпинделя	В патроне шпинделя станка зажать оправку с центровым отверстием для измерения частоты вращения тахометром часовым специальным ТЧ-10-р. Сравнить показания тахометра с заданными потенциометром величинами частоты вращения в шести произвольных положениях, охватив весь диапазон регулирования	Допустимое отклонение частоты вращения шпинделя – не более 6 % (диапазон регулирования частоты вращения см п.п. 19 и 24 таблицы 1.1)

12 Проверка величин подач горизонтального и вертикального столов и корпуса горизонтального шпинделя	Включением перемещения горизонтального и вертикального столов и корпуса горизонтального шпинделя с заданными потенциометром величинами подач в шести произвольных положениях, охватив весь диапазон регулирования. Измерением секундомером СОПпр-2а-000 и линейкой 1000	Допустимое отклонение величин подач – не более 5 % (диапазон регулирования величин подач см. п.п. 15 и 17 таблицы 1.1)
13 Плавность, отсутствие рывков при перемещении столов и корпуса горизонтального шпинделя	Включением перемещения горизонтального и вертикального столов и корпуса горизонтального шпинделя	Перемещение столов и бабки горизонтального шпинделя должно быть плавным
14 Нагрев подшипников шпинделей	Измерением температуры вольтметром универсальным цифровым В7-27 в зоне передних подшипников шпинделя. Проверка проводится во время обкатки станка на холостом ходу не менее 30 минут на максимальных частотах вращения шпинделя при установившейся температуре	Избыточная температура на наружной поверхности бабки горизонтального шпинделя и корпусе головки вертикальной не должна превышать 55 °С
15 Напряжение радиопомех	По ГОСТ Р 51318.11 и ГОСТ Р 51320 измерителем радиопомех SMV 6,5 класса 1,0 фирмы RFT (Германия)	Не должно превышать значений п. 1.2.1
16 Электрическая прочность изоляции силовых цепей	Проверку проводить до начала отладочных работ с помощью универсальной пробойной установки УПУ-1М (или аналогичной, мощностью не менее 500 ВА) в следующей последовательности: 1) убедиться в наличии надежного заземления корпуса электрошкафа; 2) отключить кабель питающей электросети от вводных клемм ХТ1;	Пробоя и поверхностного перекрытия изоляции не должно быть. Положительные результаты испытания занести в соответствующие графы «Свидетельства о выходном контроле электрооборудования»

	3) соединить перемычками провода A, B и C на вводных клеммах XT1; 4) отключить силовые провода и разъемы управления от блоков питания и преобразователей приводов подач и шпинделя и все разъемы от УЧПУ; 5) отключить провода от двигателей насосов СОЖ и гидростанции; 6) отключить RS-фильтры от двигателей СОЖ и гидростанции; 7) отключить провода от трансформатора TV1; 8) установить перемычки на силовых контактах пускателей и включить автоматические выключатели; 9) подключить испытательное напряжение между корпусом электрошкафа и проводом A на вводной клемме XT1. С помощью универсальной пробойной установки постепенно поднимать напряжение, начиная с нуля, до 1500 В. Выдержать изоляцию при этом напряжении в течении 1 мин, а затем плавно снизить до нуля. Отключить установку. При положительном результате испытания восстановить схему, при отрицательном – отыскать место пробоя, устранить неисправность и повторить испытание. Аналогично проверить кабели двигателей	
17 Сопротивление изоляции	Измерением мегаомметром М4100/3 при напряжении 500 В. Считывание показаний проводить при установившейся стрелки прибора. Измерение проводить в следующей последовательности: 1) подготовить схему по п. 16; 2) установить перемычки в зажимах цепей управления (XT4, XT8);	Не менее 1 МОм Положительные результаты испытания занести в соответствующие графы «Свидетельства о выходном контроле электрооборудования»

	3) отключить общие провода (1, 2, 10) от шины заземления; 4) замерить сопротивление изоляции), подключая выводы мегомметра: – между зажимами силовых цепей и шиной заземления шкафа; – между зажимами цепей управления и шиной заземления шкафа; – между зажимами силовых цепей и зажимами цепей управления. При положительном результате испытания восстановить схему, при отрицательном – отыскать место пробоя, устранить неисправность и повторить испытание.	
18 Наличие специального замка с вынимающимся ключом и предупреждающего знака на двери электрошкафа	Визуально определить наличие замка и знака	Замок и знак должны быть
19 Надежность действия защитных устройств и блокировок	1) Останов станка в аварийных ситуациях: – действие аварийной кнопки «Стоп»; – действие аварийного ограничения хода; – авария преобразователей; – перегрузка электродвигателей; – визуальная проверка токов уставки автоматических выключателей. 2) Блокировка запуска цикла, если оси не отреферированы. 3) Блокировка вращения шпинделя, если инструмент не зажат.	Станок останавливается, самозапуск станка после восстановления не происходит, на экране – соответствующее сообщение. Не действуют кнопки ускоренной подачи и запуска цикла. Разжатый шпиндель не запускается, разжим не действует при вращении шпинделя.

Испытание станка под нагрузкой должно соответствовать таблице 4.3.

Таблица 4.3

Что проверяется	Метод проверки	Результат проверки
1 Испытание станка под нагрузкой	При нагрузке станка образца-изделия в соответствии с режимами, указанными в таблице 4.3, горизонтальным и вертикальными шпинделями. Контроль частоты вращения шпинделя проводится тахометром часовым специальным ТЧ-10-р. Измерение момента проводится персональным компьютером, используя программу «COMBIVIS 5»	Безотказность работы Уменьшение частоты вращения шпинделя под максимальной нагрузкой должно быть не более 10 %. При этом момент на электродвигателе шпинделя не должен превышать его номинального значения
2 Октавные и корректированный уровни звуковой мощности (L_P; L_{PA}), уровень звукового давления (L), уровень звука и эквивалентный уровень звука (L_A)	Точным импульсным шумомером 00024 по методике согласно ГОСТ Р 51402 и ГОСТ ИСО 230-5 при работе станка на типовых режимах в соответствии с таблицей 4.3	Не должны превышать значений, указанных в таблице
3 Уровни вибрации на рабочем месте	По ГОСТ 12.1.012. Проверяются акустическим комплексом ВШВ-003 при работе станка на типовых режимах, приведенных в таблице 4.3	Не должны превышать значений, указанных в таблице

Примечание: 1. Работа станка при силовом испытании должна продолжаться каждым шпинделем не менее 30 мин.

2. При силовых испытаниях режимы резания обеспечивают максимальную нагрузку привода.

Проверка точности станка (некоторые показатели).

Общие требования к условиям испытания станка на точность, методам и средствам измерения точности должны соответствовать ГОСТ 8 и ГОСТ 26016, схемы и способы измерений геометрических параметров – ГОСТ 22267.

Плоскостность рабочей поверхности стола:

1) горизонтального;

2) вертикального.

Средства измерения: линейка поверочная специальная, головка 2 ИГ.

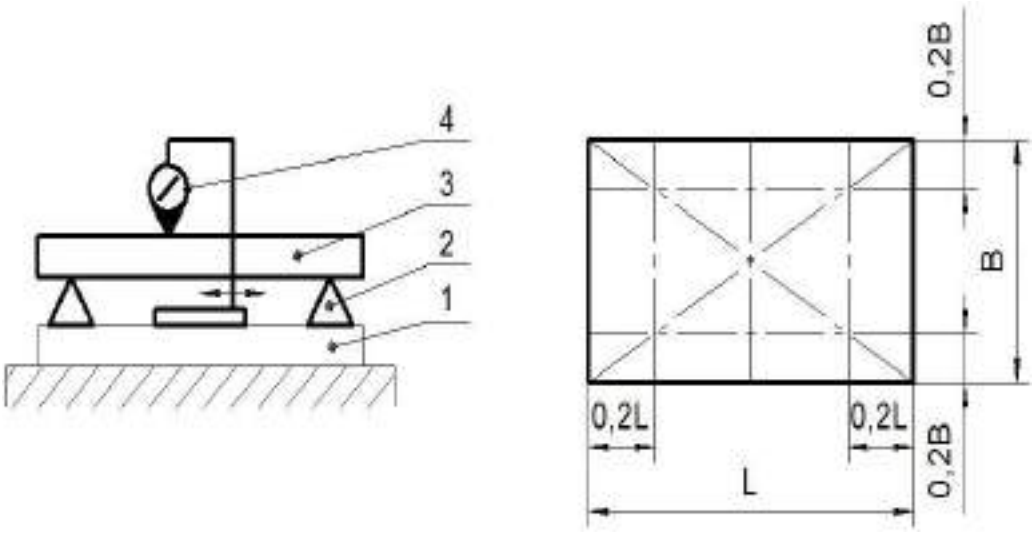


Рис. 4.13. Схема измерения

Допуск:1) 16 мкм на длине 600 мм; 2) 20 мкм. Выпуклость не допускается.

Проведение измерения

На проверяемую поверхность стола 1 в двух точках заданного сечения установить две опоры 2, на которые рабочей поверхностью положить поверочную линейку 3 так, чтобы расстояние от проверяемой поверхности до рабочей поверхности линейки у ее концов были равны.

Головку 4 установить на проверяемую поверхность так, чтобы ее измерительный наконечник касался рабочей поверхности линейки и был перпендикулярен ей. Головку перемещать по проверяемой поверхности вдоль линейки.

Измерения проводить в двух продольных, трех поперечных и двух диагональных сечениях. Отклонение от плоскостности равно наибольшей алгебраической разности показаний головки во всех сечениях.

Параллельность рабочей поверхности вертикального стола траектории его продольного и вертикального перемещений.

Средства измерения: линейка поверочная специальная, головка 2 ИГ.

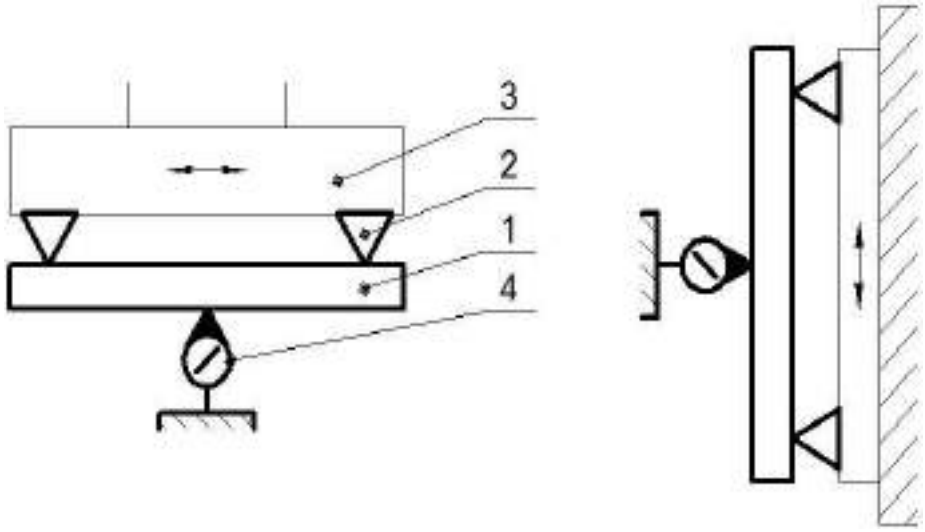


Рис. 4.14. Схема измерения

Допуск:16 мкм на дине 400 мм. Наклон верхней кромки стола в сторону от станины не допускается.

Проведение измерения

Суппорт установить в среднее положение в вертикальной плоскости при проверке параллельности траектории продольного перемещения, и вертикальный стол установить в среднее положение в горизонтальной плоскости при проверке параллельности траектории вертикального перемещения. Поверочную линейку 1 установить на опорах 2 на середине перемещаемого стола 3 вдоль направления его перемещения так, чтобы расстояние от плоскости стола до рабочей поверхности

линейки у ее концов были равны. Головку 4 установить на неподвижной части станка так, чтобы ее измерительный наконечник касался рабочей поверхности линейки и был перпендикулярен ей. Стол с линейкой перемещать на всю длину хода. Отклонение от параллельности проверяемой поверхности вертикального стола траектории его перемещения равно наибольшей алгебраической разности показаний на всей длине хода. В этом случае результаты измерения будут включать в себя отклонение от прямолинейности и параллельности траектории перемещения.

Параллельность рабочей поверхности горизонтального стола траектории его продольного перемещения

Средства измерения: линейка поверочная специальная, головка 2 ИГ.

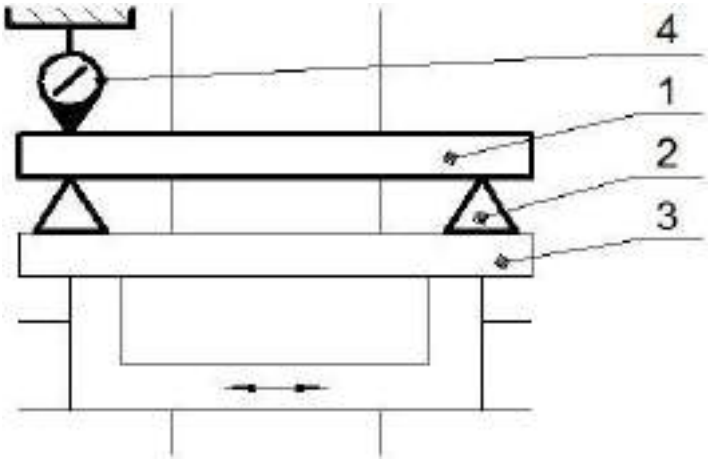


Рис. 4.15. Схема измерения

Допуск:16 мкм на дине 400 мм.

Проведение измерения

Суппорт установить в среднее положение в вертикальной плоскости.

Поверочную линейку 1 установить на опорах 2 на середине перемещаемого стола 3 вдоль направления его перемещения так, чтобы расстояния от плоскости стола до рабочей поверхности линейки у ее концов были равны. Головку 4 установить на неподвижной части станка так, чтобы ее измерительный наконечник касался рабочей поверхности линейки и был перпендикулярен ей. Стол с линейкой перемещать на

заданную длину хода. Отклонение от параллельности проверяемой поверхности горизонтального стола траектории его продольного перемещения равно наибольшей алгебраической разности показаний головки на всей длине хода. В этом случае результаты измерения будут включать в себя отклонение от прямолинейности и параллельности траектории перемещения.

Параллельность рабочей поверхности горизонтального стола траектории перемещения корпуса горизонтального шпинделя

Средства измерения: линейка поверочная ЛЧ-0-320, головка 2 ИГ.

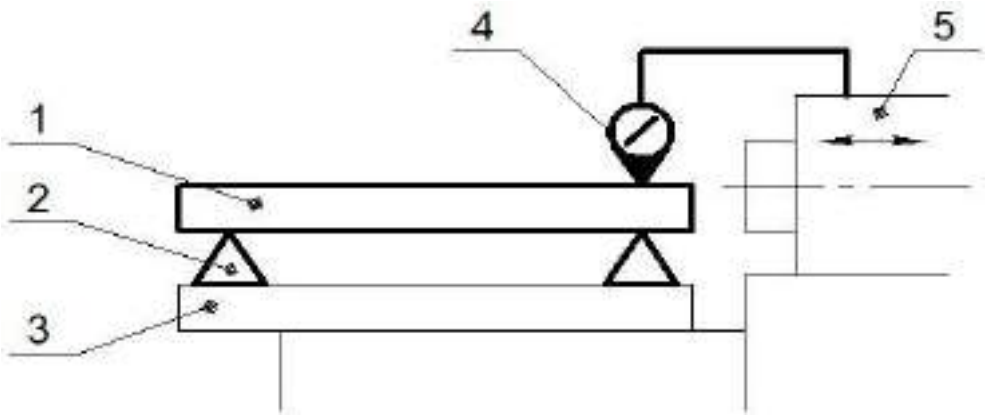


Рис. 4.16. Схема измерения

Допуск:12мкм. Наклон верхней кромки стола в сторону от станины не допускается.

Проведение измерения

Горизонтальный стол установить в среднее положение в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Поверочную линейку 1 установить на опорах 2 на проверяемую поверхность горизонтального стола 3 вдоль направления перемещения корпуса горизонтального шпинделя так, чтобы расстояния от плоскости стола до рабочей поверхности линейки у ее концов были равны. Головку 4 установить на корпус горизонтального шпинделя 5 так, чтобы ее измерительный наконечник касался рабочей поверхности линейки и был перпендикулярен ей.

Корпус горизонтального шпинделя перемещать на всю длину хода. Отклонение от параллельности проверяемой поверхности горизонтального стола траектории перемещения корпуса горизонтального

шпинделя равно наибольшей алгебраической разности показаний головки на длине хода. В этом случае результаты измерения будут включать в себя отклонение от прямолинейности и параллельности траектории перемещения.

Параллельность боковых сторон направляющего паза вертикального стола и горизонтального стола траектории продольного перемещения

Средства измерения: индикатор мод. V253 фирма «TESA» (Швейцария), цена деления 2 мкм.

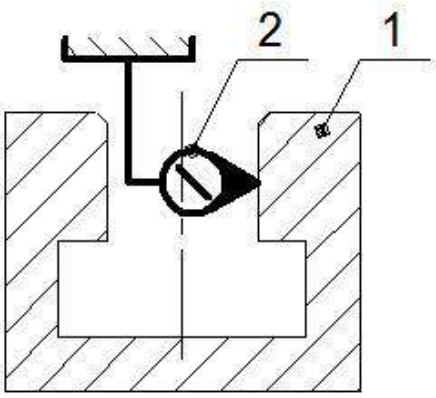


Рис. 4.17. Схема измерения

Допуск:16 мкм на дине 400 мм.

Проведение измерения

Индикатор 2 установить на корпусе горизонтального шпинделя так, чтобы его измерительный наконечник касался проверяемой поверхности. Стол 1 перемещают на заданную длину. Параллельность измеряют по обеим боковым сторонам направляющего паза стола. Отклонение от параллельности траектории перемещения равно наибольшей алгебраической разности показаний индикатора на всей длине перемещения. Примечание. Для вертикального стола допускается проверять только нижнюю сторону паза.

Радиальное биение конического отверстия шпинделя:

1) горизонтального:

– у торца шпинделя;

– на длине 150 мм от торца шпинделя;

2) вертикального:

– у торца шпинделя;

– на длине 150 мм от торца шпинделя.

Средства измерения: головка 1 ИГ, оправка специальная контрольная цилиндрическая с радиальным биением не более 0,001 мм.

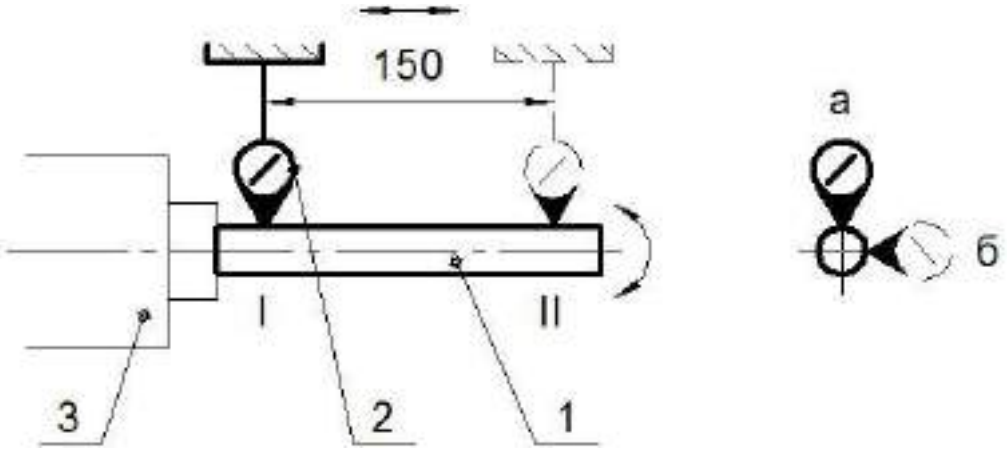


Рис. 4.18. Схема измерения

Допуск: 1) 6 мкм – 10 мкм; 2) 6 мкм – 10 мкм.

Проведение измерения

В коническое отверстие шпинделя 3 установить контрольную оправку 1. Головку 2 установить на неподвижной части станка так, чтобы ее измерительный наконечник касался образующей контрольной оправки и был перпендикулярен ее оси. При измерении шпиндель поворачивать не менее чем на два оборота. Для исключения из результатов измерения влияния неправильной посадки хвостовика контрольной оправки в отверстии шпинделя измерения в сечениях I и II проводить четыре раза. После каждого измерения оправку поворачивать вокруг оси вращения на 90°. При каждом измерении фиксировать показания головки с плоскостью а и б, по которым определяют наибольшую алгебраическую разность.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите виды испытаний промышленных роботов.

2. Какие требования предъявляются к условиям проведения испытаний промышленных роботов?

3. Какие параметры измеряются при проведении испытаний промышленных роботов?

4. Какие параметры измеряются при проведении испытаний мехатронных систем?

5. Какие средства измерения используются при проведении испытаний роботов и мехатронных систем?

6. Как проверяют погрешность позиционирования робота?

7. Как проверяют жесткость конструкции робота?

8. Как проверяют грузоподъемность робота?

9. Как проверяют быстродействие робота?

10. Как проверяют проходимость мобильных роботов?

11. Как оценивается неравномерность движения узлов робота?

12. Как измеряются динамические характеристики робота?

13. Назовите особенности испытаний мехатронных систем.

14. Чем обусловлены ошибки в мехатронных модулях движения?

15. Назовите методы определения ошибок мехатронного модуля движения.

16.Назовите методы диагностирования мехатронных и робототехнических систем.

17. Какова роль моделирования в диагностике мехатронных и робототехнических систем?

18. Приведите структурную схему модели исполнительной системы робота.

19. Назовите основную задачу технического диагностирования.

20. Приведите информационную структуру системы поддержания работоспособности объекта.

21. Какие датчики используются при диагностировании механизмов?

22. Назовите зоны работоспособности диагностируемой системы.

23. Приведите пример схемы определения параметра точности металлорежущего станка.

Глава 5. ЭКСПЛУАТАЦИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

5.1. Эксплуатация роботов в производственных системах

Промышленные роботы могут быть эффективно применены в условиях производства с различной серийностью для автоматизации вспомогательных и основных технологических операций.

Массовое производство с постоянным объектом выпуска предполагает применение высокопроизводительного специального основного технологического оборудования, объединенного автоматическими транспортно-загрузочными механизмами периодического действия, что в комплексе представляет собой автоматические линии. При создании таких линий стремятся обеспечить минимальный цикл работы. Жесткие автоматические линии отличаются высокой производительностью и широко применяются в подшипниковой промышленности, автомобилестроении, тракторном и сельскохозяйственном машиностроении, производстве изделий бытовой техники и т. д. Так как эти линии нельзя использовать при смене объекта производства, то они должны окупаться за период эксплуатации. Главные требования, предъявляемые к основному и вспомогательному оборудованию, - высокая производительность и надежность при длительной эксплуатации и высокий уровень автоматизации выполняемых операций. Надежность и ресурс основного технологического оборудования, вспомогательных устройств и средств автоматизации ограничены сроком выпуска массовой продукции. Средства автоматизации не обязательно должны быть переналаживаемыми и функционально взаимозаменяемыми, что определяет сравнительную простоту их конструкций.

Однако и в массовом производстве возрастающие темпы технического прогресса обусловливают сравнительно частое изменение конструкций и свойств выпускаемых изделий, что, в свою очередь, вызывает необходимость в переналадке или изменении структуры действующей автоматической линии, замене оборудования и средств автоматизации и т. д. Таким образом, срок эксплуатации жесткой автомати-

ческой линии, ориентированной на выпуск конкретной продукции, сокращается. Это вызывает необходимость широкого применения ПР в массовом производстве.

Применение ПР различного функционального назначения позволяет быстро комплектовать комплексные автоматические линии, в состав которых входит разнородное технологическое оборудование, исключает необходимость создания в каждом конкретном случае специальных транспортных средств, позволяет быстро переналаживать автоматические линии, а также комплектовать и пускать их в эксплуатацию в более сжатые сроки.

Крупносерийное производство характеризуется ограниченным сроком морального старения выпускаемого изделия. Подготовка такого производства должна осуществляться в короткие сроки, так как выпускаемая продукция изготовляется в течение ограниченного времени. Основные требования, предъявляемые к основному и вспомогательному оборудованию, - высокая производительность, надежность, переналаживаемость и возможность перекомпоновки сравнительно легкими способами. Снижение стоимости подготовки производства и себестоимости продукции прямо зависит от соблюдения этих условий.

Перечисленным требованиям вполне удовлетворяет автоматическое и полуавтоматическое обрабатывающее оборудование (прежде всего агрегатные станки и станки с ЧПУ), которое с помощью ПР можно объединить в автоматические линии с гибкой связью. Объединение ПР с высокоавтоматизированным оборудованием в предметные робототехнические комплексы позволит решить задачу создания комплексно-автоматизированных участков и линий с гибкой связью, обеспечить их переналадку, а при необходимости - изменение структуры и переукомплектование.

Среднесерийное многономенклатурное производство характеризуется частой сменой и повторяемостью партий выпускаемых изделий, а также небольшой длительностью выпуска деталей одного типа (от двух-трех смен до нескольких недель). Проблема комплексной автоматизации среднесерийного многономенклатурного производства наибо-

лее эффективно может быть решена на основе создания типовых роботизированных комплексов (РК) различного технологического назначения, в которых ПР осуществляет единичное или групповое обслуживание оборудования (роботизированных позиций). Такие РК должны обеспечивать выполнение наиболее распространенных в машиностроении операций, включая заготовительные и сборочные. Конструктивно-технологические параметры РК должны быть таковы, чтобы можно было объединять их в гибкие производственные системы, построенные на основе методов групповой технологии. Разработка типовых РК для обработки наиболее распространенных деталей машиностроения и выполнения широкой номенклатуры операций позволяет комплектовать автоматизированные участки производства и автоматические линии различных типов, создавая сложные производственные системы, дифференцированные по назначению, составу выполняемых операций и уровню автоматизации процессов обработки и управления.

Мелкосерийное производство, требующее переналадки за время смены, высоких производительности труда и степени автоматизации производственных процессов, находится в настоящее время на наиболее низком уровне. Повышение технико-экономических показателей этого производства предполагается путем широкого применения оборудования с ЧПУ, которое должно быть объединено в участки либо по функциональному признаку (однородные станки), либо по технологическому принципу (обеспечение последовательного технологического маршрута обработки). Перспективно применение РК на основе многооперационных станков с ЧПУ с высоким уровнем концентрации и совмещения операций. Методы групповой технологии позволяют и в мелкосерийном производстве в ряде случаев организовать обработку укрупненных партий однотипных деталей. Основной структурной единицей автоматизированных гибких производственных систем и при мелкосерийном производстве должны стать РК оборудование - робот, программируемые по первой детали методом обучения; такое решение обеспечит рентабельность обработки деталей с партией запуска *5-10 шт.*

Структура. Понятие роботизированная технологическая система (РТС) распространяется на все структурные производственные подразделения, в состав которых в качестве средств автоматизации входят ПР, в том числе на роботизированные комплексы, участки, линии и цехи. Роботизированный комплекс (РК) является основной структурной единицей РТС любой сложности. РК - автономно действующая совокупность технологических средств производства, включающая набор основного технологического и вспомогательного оборудования (в том числе один или несколько ПР, которые выполняют технологические или вспомогательные операции) и обеспечивающая полностью автоматизированный цикл работы внутри комплекса и связь его с входными и выходными потоками остального производства. Необходимо различать роботизированные технологические комплексы (РТК), где ПР выполняет вспомогательные операции типа "взять - перенести - положить", и роботизированные производственные комплексы (РПК), где ПР выполняет основные операции технологического процесса (сборку, сварку, окраску и т. п.). РК может быть образован на основе одного ПР, обеспечивающего индивидуальное или групповое обслуживание состыкованного с ним оборудования или законченный цикл обработки изделия (например, сварки) на одной роботизированной позиции, а также на базе нескольких ПР, выполняющих взаимосвязанные или взаимно дополняющие операции.

Создание гибких производственных систем с применением ПР требует решения комплекса задач, связанных с размещением оборудования и (если это требуется) его модернизации для стыковки с ПР, с выбором ПР и других транспортных средств, а также вспомогательных устройств, с выбором или разработкой средств контроля, информации и управления и т. п. Любая сложная производственная система представляет собой совокупность объектов, связанных причинно-следственной зависимостью так, что их функции, производимые ими действия и выполняемые над ними операции должны приводить к выпуску продукции определенного качества в надлежащем количестве и за установленное время. Оптимальная система отличается максимальной

производительностью при минимальных затратах. В условиях среднесерийного многономенклатурного производства оптимальными могут быть только гибкие производственные системы, обладающие свойством относительной адаптации - способностью приспосабливаться к изменениям внутри и вне системы, сохраняя при этом производительность, близкую к максимальной.

По структуре каждую производственную систему можно представить как совокупность основных компонентов.

Подсистема обработки (формообразования) деталей включает в себя серийные или специально разработанные модели основного технологического оборудования, целесообразность применения которых определяется требованиями конкретного производственного процесса, уровнем концентрации и совмещения операций и требуемой степенью автоматизации переходов обработки. В ряде случаев комплектуется ПР, выполняющими основные технологические операции.

Подсистема потока (транспортирования) деталей осуществляет складирование, внутрицеховое и межстаночное транспортирование деталей и заготовок, а также установку, снятие, переориентацию (если потребуется) и фиксацию деталей при обслуживании основного технологического оборудования.

В состав подсистемы потока деталей (заготовок) входят автоматизированные склады, роботы различных конструкций, конвейеры, тележки и другие средства автоматизации транспортно-складских операций. При выборе или разработке транспортных средств необходимо согласовывать их действия с общезаводскими и цеховыми средствами транспортирования заготовок, полуфабрикатов и готовых деталей; правильно выбирать тип и емкость накопительных устройств, комплектующих РК, а также способ ориентации, комплектации и фиксации заготовок (деталей) на начальной позиции РК.

Подсистема потока инструмента и приспособлений обеспечивает комплектацию, наладку, доставку и смену вспомогательной оснастки и приспособлений, формообразующего и измерительного инструмента в подсистемах обработки и контроля, а также захватных устройств и инструмента, для ПР. При создании автоматизированных

участков (линий) целесообразно устанавливать на всех РК унифицированные устройства (магазины), допускающие автоматическую смену и закрепление инструментов, приспособлений и захватных устройств (для ПР). Подача инструмента, приспособлений и захватных устройств может осуществляться общей подсистемой потока деталей. При этом становится возможным комплектовать запускаемую партию заготовок набором приспособлений и инструментов, необходимых для ее обработки. Установка инструментов в унифицированных по форме и размерам оправках (блоках) позволяет применять ПР, обслуживающие поток деталей, для выполнения операций смены инструмента на станках.

Подсистема контроля качества продукции предназначена для контроля производства с целью получения заданных показателей качества.

Подсистема управления и информации осуществляет управление и взаимосвязь между основным и вспомогательным оборудованием, транспортно-загрузочными устройствами и складом; контроль и диагностику работы оборудования, в том числе фиксацию отказов и простоев; сбор и распределение информации о местонахождении партий заготовок и деталей, а также о степени укомплектования оснасткой, приспособлениями, формообразующим и мерительным инструментом; расчет последовательности обработки партий деталей на станках; учет изделий, заготовок, полуфабрикатов, материалов, комплектующих изделий и узлов, а также оперативную оценку степени заполнения склада; выдачу информации диспетчеру и прочие операции, связанные с планированием, организацией производства и управлением другими подсистемами.

Вспомогательная подсистема поддерживает работоспособность сложной производственной системы в целом. В ее функции входят обеспечение энергопотока, уборка отходов производства, материальное обеспечение и т. д.

Перечисленные подсистемы взаимосвязаны, поэтому конкретное организационное и конструктивно-технологическое решение по одной из них предъявляет, как правило, определенные требования к остальным. Таким образом, создаются сложные производственные системы,

различающиеся назначением, сложностью структуры, степенью автоматизации основных и вспомогательных операций и управления, дифференцированные по уровню организации причинно-следственных зависимостей внутри подсистем и между ними.

Так как основная цель - экономия рабочей силы и повышение производительности труда, т. е. увеличение объема выпускаемой продукции, приходящейся на одного работника, то характер и степень автоматизации должны быть оправданы экономически и в то же время должна быть продемонстрирована возможность наращивания и совершенствования всего комплекса в целом.

При создании автоматизированных участков и производств для их постепенного превращения в оптимальные гибкие производственные системы, характеризующиеся постоянным снижением участия человека в их работе и управлении, необходимо обеспечить работоспособность и надежность; возможность стыковки оборудования различного технологического назначения и широкого варьирования транспортно-загрузочных схем; гибкость и возможность наращивания функций подсистемы управления и информации; обеспечение адаптации производственного комплекса к изменению условий производства; возможность совершенствования и расширения автоматизированного участка.

Применительно к структуре участка эти показатели могут быть обеспечены агрегатно-модульным построением его основных функциональных подсистем (обработки, транспортирования) и иерархической системой управления и информации. Необходимая гибкость транспортно-загрузочных схем может быть достигнута применением роботизированных комплексов, которые могут рассматриваться как основные структурные единицы при агрегатном построении автоматизированных участков.

Основой агрегатного построения, как известно, является наличие определенных структурных единиц, способных состыковываться между собой с помощью связующих звеньев. Применительно к участкам связующими звеньями таких единиц должны служить подсистема управления и информации, транспортно-складская система, система

автоматической переналадки (если она имеется). Связь между станком и ПР может носить индивидуальный характер ввиду возможного разнообразия обслуживаемого оборудования. Обеспечение индивидуальных связей внутри РК достигается применением ПР. Для возможности стыковки РК между собой требуется унификация их приемных позиций, транспортных тар, спутников, конструктивных элементов устройств непрерывного транспортирования, выходных элементов систем управления и информации.

Состав и структура РТС определяются содержанием производственного процесса, который формируется на основе следующих показателей: конструктивно-технологических параметров детали (или номенклатуры деталей); заданной годовой программы выпуска; состава технологического оборудования; организации подсистем обработки, потока деталей и инструмента, контроля качества продукции, управления и информации, а также вспомогательной подсистемы, включающей службы ремонта и техники безопасности. На рис. 5.1 показан характер внутренних связей между основными составляющими производственного процесса.

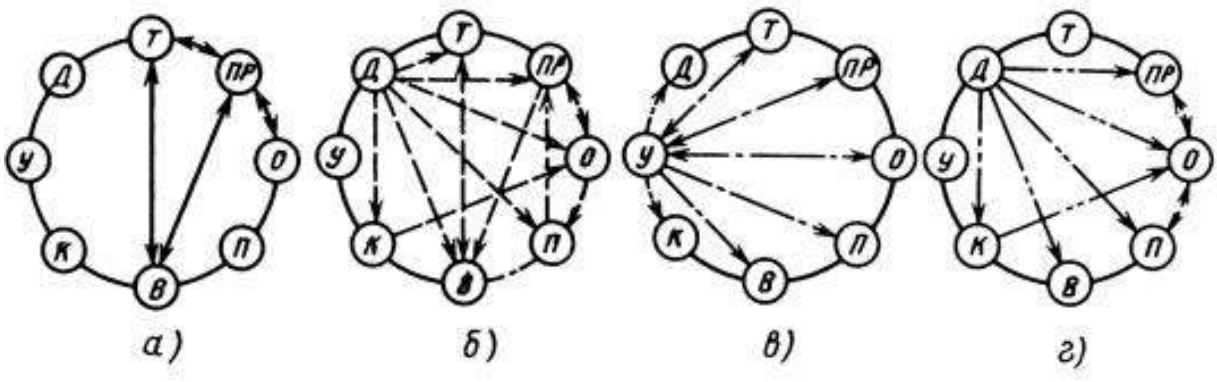


Рис. 5.1. Внутренние связи между основными составляющими элементами производственного процесса в роботизированной производственной системе: *а - планировочные; б - конструктивные; в - информационные; г - технологические; О - технологическое оборудование; ПР - промышленный робот; Д - деталь; П - оснастка технологического оборудования (приспособления и устройства для базирования и закрепления детали); В - вспомогательное оборудование комплекса для подачи деталей и инструмента на загрузочные позиции, ориентации, отвода изделий и т. п (тары, ориентирующие магазины, роликовые конвейеры, питатели); К - средства контроля; У - средства управления; Т - входные и выходные транспортные связи комплекса*

В зависимости от назначения РК, состава комплектующего оборудования и характера организации производства задачи, связанные с созданием комплексов, могут быть различными. На рис. 5.2 приведен пример организации РТК станок - робот.

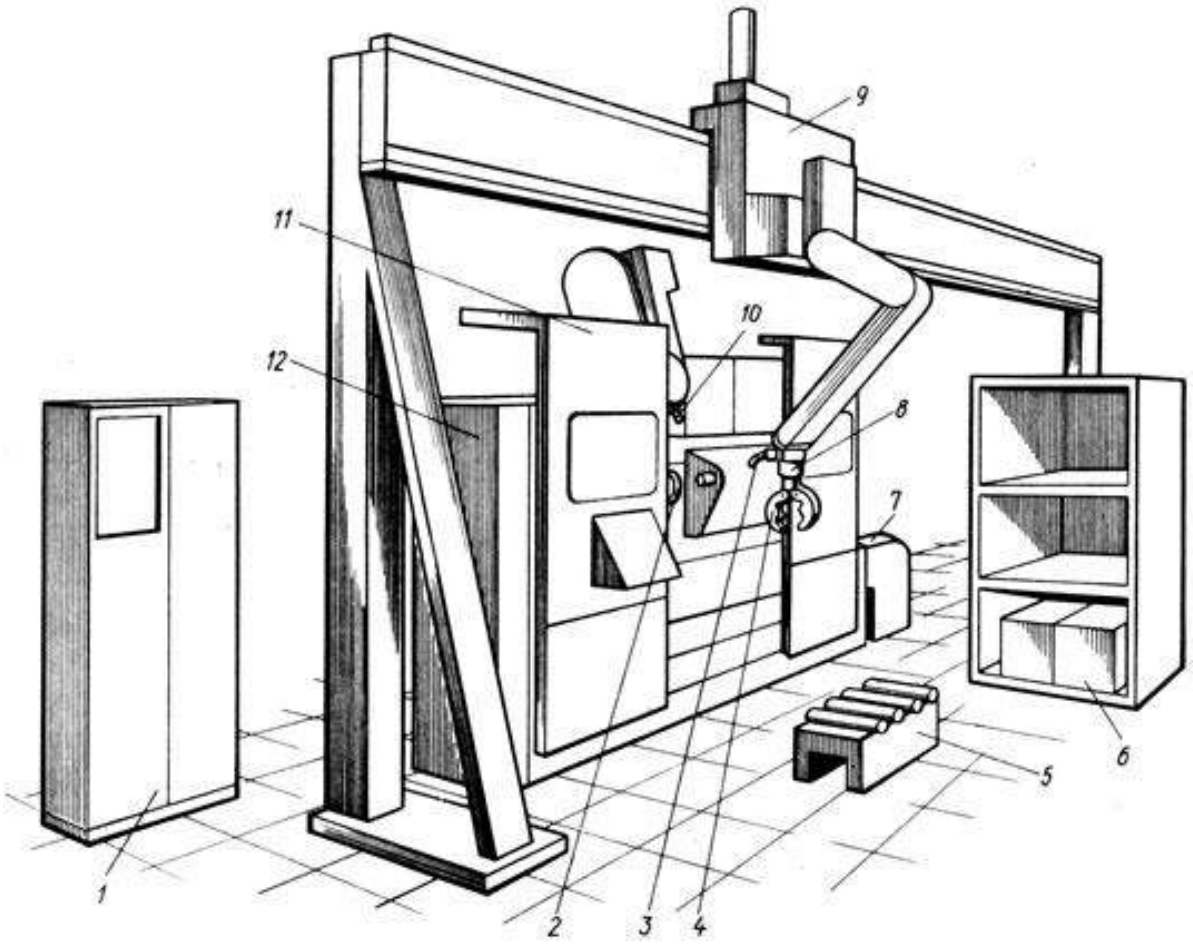


Рис. 5.2. Структура роботизированного технологического комплекса станок робот:
1 - блок управления роботом и станком; 2 - автоматические зажимные и базирующие приспособления станка; 3 - устройство очистки баз деталей и зажимных приспособлений станка от грязи и стружки; 4 - захватное устройство робота, оснащенное средствами опознавания заготовок, контроля их размеров и правильности установки заготовок в рабочей зоне станка; 5 - переналаживаемые -ориентирующие магазины для деталей; 6 - ячейки автоматизированного склада; 7 - конвейер для уборки стружки; 8 - блок автоматической смены захватных устройств; 9 - робот; 10 - головка с режущим инструментом для автоматической смены инструмента, оснащенная устройствами дробления стружки, контроля затупления и поломки инструмента; 11 - автоматизированное ограждение рабочей зоны стенка; 12 – станок

Эффективное использование средств робототехники па промышленных предприятиях в значительной мере определяется четкой организацией эксплуатации ПР. Под эксплуатацией ПР понимают совокупность действий по транспортировке, хранению, подготовке и использованию по назначению ПР, а также их техническому обслуживанию и текущему ремонту.

5.2. Эксплуатация роботов в транспортно-накопительных системах автоматизированных производств

Эффективность производственной системы в целом определяется не только качеством технологического оборудования, но и качеством процессов (подсистем), обеспечивающих производство, в частности – производственной логистикой. Завод может быть оснащен совершенными станками, но несвоевременная доставка к станку заготовок, оснастки, инструмента приведет к срыву производственного задания и снижению эффективности производственной системы.

О роли производственной логистики говорят следующие данные: на крупных европейских производственных предприятиях, в среднем 87% производственного времени затрачивается на внутрицеховую логистику, в которой задействовано 25% производственного персонала и 55% производственных площадей. В 2018 году 17% европейский фабрик уже применяли системы автоматизации внутрицеховой логистики, а к 2023 году таких предприятий будет уже 35%. На текущий момент, наиболее распространенным принципом организации производства остается конвейерная сборка и роботизированные системы внутрицеховой логистики активно внедряются для обеспечения конвейера инструментом, заготовками, сборочными единицами и т.п. Но роботизированные системы внутрицеховой логистики позволяют реализовать и новые принципы организации и управления технологическими процессами – гибкие производственные системы. Именно роботизированные транспортно-накопительные системы позволяют осуществлять прием, накопление, транспортирование, выдачу заготовок, полуфабрикатов, инструмента, технологической оснастки и готовых изделий в ГПС для обеспечения ее наиболее эффективного функционирования.

К роботизированным транспортно-накопительным системам предъявляются следующие требования:

1. *Масштабируемость.* При загрузке производственного оборудования на 35% сразу внедрять логистическую систему, способную обеспечить 100% загрузку экономически не целесообразно. Вы получите еще одну производственную систему, у которой КИМ (коэффициент использования производственных мощностей) будет далек от идеального. Поэтому система должна позволять поэтапное наращивание производительности без существенного изменения топологии цеха и, желательно, без проведения капитальных строительно-монтажных работ.

2. *Логистическая система должна быть автоматической*, т.е. не требовать участия человека-оператора и перенастраиваться под производственные задания по командам от автоматизированных систем управления производством. Адаптация к конкретному технологическому процессу, или производственному оборудованию должна осуществляться заменой оснастки. В системе должны быть предусмотрены сценарии работы как в рамках регулярного технологического процесса, так и в рамках аварийных ситуаций. Т.е. при возникновении аварийной ситуации, система должна попытаться разрешить ее без остановки технологического процесса.

3.*Способность системы строить цифровую модель технологического процесса*, которая будет использоваться вышестоящими системами управления для формирования производственного плана.

Для автоматизации внутрицеховой логистики применяются различные технические решения – от безлюдных складов до транспортных роботов для автоматизации перемещения деталей, материалов, инструмента. Наиболее универсальным решением, обладающим достаточной гибкостью для встраивания в уже существующий технологический процесс, выступат транспортные роботы – мобильные роботы, предназначенные для перемещения на своей платформе физических объектов (определение по ГОСТ Р 60.0.0.2 – 2016). Транспортные роботы можно классифицировать по функциональности:

1. Роботы-тягачи – транспортные роботы, предназначенные для транспортировки различных грузов на тележках и оснащённые специальным зацепом (штоком) для автоматического сцепления с транспортируемой тележкой (рис.5.3)



Рис. 5.3. Роботы-тягачи на линии сборки автомобилей

2. Универсальные мобильные роботы – транспортные роботы, функциональность которых определяется установленной на них оснасткой. Могут оснащаться как роботом-манипулятором, так и различной подъемной, поворотной и подъемно-поворотной оснасткой, адаптированной под определенный технологический процесс (Рис.5.4).



Рис. 5.4. Универсальные мобильные роботы

Типичным представителем этой серии является универсальный мобильный робот M100, способный перевозить 75 кг (оснастка + груз) на платформе или тянуть тележку весом до 200 кг. Типичной оснасткой для данного робота выступает рольганг с электроприводом, позволяющий подавать, или снимать с конвейера различные грузы, но могут применяться и другие виды оснастки, вплоть до установки робота-манипулятора. Особенностью универсальных мобильных роботов Geek+ является навигация SLAM, позволяющая свободно перемещаться в сложной производственной среде и объезжать возникающие препятствия, например, выставленный на маршруте движения поддон.

3. Роботы-погрузчики. Как правило, представляют из себя стандартные форклифтеры и ричтраки, оснащенные автоматической системой управления, но представлены и моделями на специально разработанной мобильной платформе (Рис.5.5). Роботы-погрузчики серии CC представляют из себя стандартные самоходные погрузчики Linde, которые оснащаются системой лазерной навигации. Система управления позволяет роботам-погрузчикам работать в помещениях с людьми, перемещать паллеты и другие грузы, и размещать их на стеллажах с высокой точностью (+10 мм). В модельной линейке представлены как роботы - форклифтеры, так и роботы-ричтраки, грузоподъемностью до 2-х тонн и высотой подъема до 2,9 метра.

4.



Рис. 5.5. Робот-погрузчик

Компания Casun также производит робот-паллетоперевозчик CA-BY1000 на специально разработанной компактной мобильной платформе. Робот оснащен системами лазерной и инерциальной навигации и, несмотря на компактные размеры, сравнимые с ручной гидравлической тележкой, может транспортировать грузы на паллетах весом до 1000 кг.

4. Специализированные роботы – транспортные роботы, специально разработанные под определенный технологический процесс.

Любое производство уникально, поэтому, несмотря на широкую номенклатуру транспортных роботов, производимых серийно, существует потребность в роботах, специально разработанных под определенный технологический процесс. Компания Casun производит специализированные роботы для электронной промышленности (доставка компонентов на линии монтажа печатных плат), автомобильной промышленности (транспортный робот большой грузоподъемности для сборочной линии) и других отраслей промышленности. Для создания специальных транспортных роботов используется модульная платформа, хотя некоторые модели разрабатываются под задачу клиента с нуля. Нужно понимать, что транспортные роботы являются частью роботизированной системы, ее исполнительными устройствами, которая также включает в себя автоматизированную систему управления роботизированной системой (АСУ), подсистему передачи данных, станции заряда АКБ роботов, элементы системы позиционирования (магнитные ленты, QR-code, отражатели для лазерных датчиков).

Внутрицеховые склады являются неотъемлемой частью внутрицеховой логистики и служат для обеспечения производственного технологического процесса комплектующими, инструментом и оснасткой, а также хранения готовой продукции и незавершенного производства. Автоматические склады позволяют осуществлять адресное хранение и выдачу единиц хранения, обеспечивая высокую плотность хранения, скорость и точность загрузки/выгрузки и могут применяться для автоматизации инструментально-раздаточных кладовых, цеховых складов материалов, деталей и сборочных единиц, а также складов готовой продукции. Но важно не только компактно хранить и быстро находить нужную единицу хранения, но и своевременно доставлять ее к соответствующему технологическому оборудованию, поэтому воз-

можность и способ интеграции автоматического склада с внутрицеховой транспортной системой является значимой характеристикой автоматического склада. На рис.5.6 представлен вид горизонтального карусельного склада.

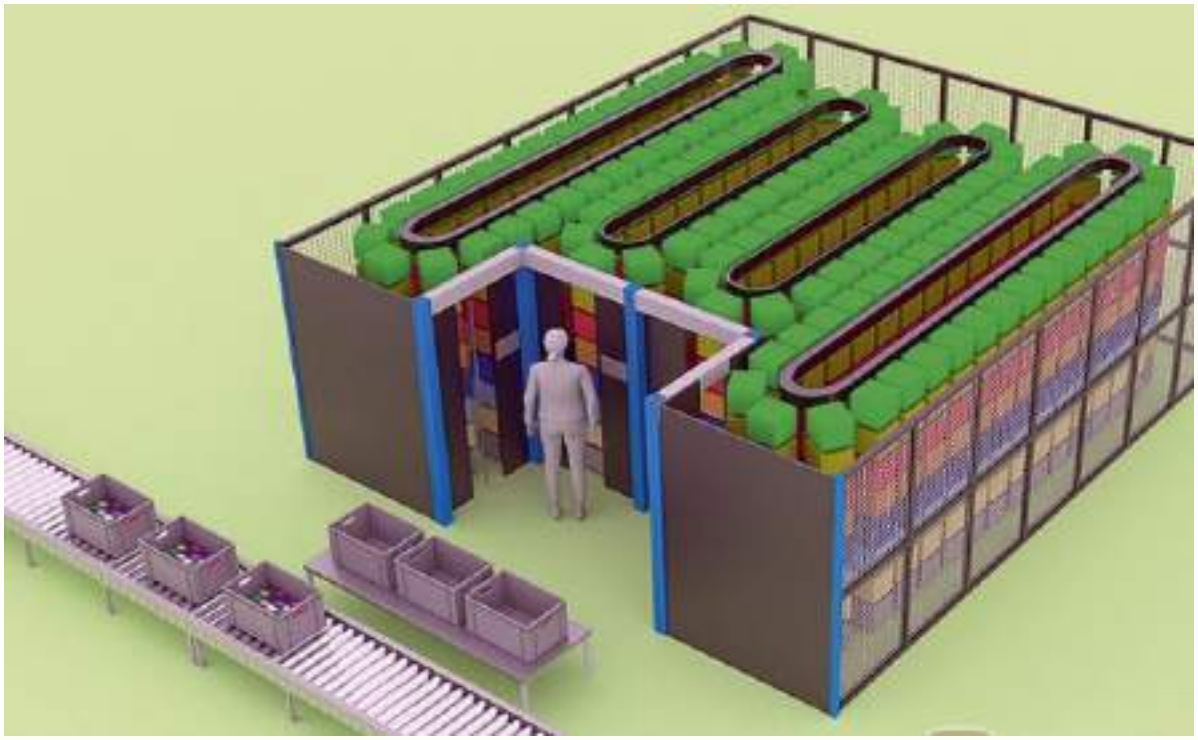


Рис. 5.6. Вид горизонтального карусельного склада

Карусельные системы предназначены для хранения и выдачи мелких единиц хранения – метизов, деталей, инструмента и оснастки и т.п. Хранение в таких системах осуществляется в пластиковых контейнерах, размещенных на полках (вертикальная карусель), либо в ячейках стеллажей (горизонтальная карусель). Полки/стеллажи, в свою очередь закреплены на карусельном механизме, перемещающем полку/стеллаж с нужной единицей хранения к окну выдачи, одновременно перемещая остальные полки/стеллажи, либо по вертикали (вертикальная карусель), либо по горизонтали (горизонтальная карусель). Автоматическая выгрузка единиц хранения в таких системах не предусмотрена, поэтому интеграция с внутрицеховой роботизированной транспортной системой затруднительна, но может осуществляться с участием человека, перекладывающего единицы хранения на транспортный робот.

Лифтовые системы предназначены для хранения и выдачи единиц хранения как в лотках, так и на паллетах и полках (длинномеры и плитные материалы). Единицы хранения размещаются и подаются к окну выдачи на полках стеллажей (несущие полки) с помощью экстрактора - подъемного механизма (лифта), оснащенного специальными захватами для полок. В отличии от карусельных систем хранения нужная полка подается к окну выдачи без перемещения других полок. Лифтовые системы получили широкое распространение на предприятиях машиностроения, для хранения металлических листов, труб, профиля. Хранение длинномеров и плитных материалов осуществляется в кассетах – специальных несущих полках. Некоторые модели лифтовых систем, предназначенных для хранения грузов на поддонах, или хранения плитных материалов, могут оснащаться автоматизированными системами загрузки/выгрузки - таким образом, возможна интеграция лифтовых систем с внутрицеховой роботизированной транспортной системой.

Шаттл-системы предназначены для хранения и выдачи единиц хранения в лотках, коробах или на паллетах. Лотки, или паллеты размещаются на стеллажах, а функцию их загрузки/выгрузки выполняют грузовые автоматические тележки – шаттлы. Шаттлы перемещаются по рельсам, закрепленным на стеллажной системе, а для загрузки/выгрузки лотков (паллет) применяется специальный механизм, закрепленный на шаттле – экстрактор. Шаттл-системы обладают высокой эффективностью – шаттл оперирует одним поддоном, или лотком/коробом, в отличии от карусельных или лифтовых систем, оперирующих полками, или целыми стеллажами, что не требует выполнять дополнительную операцию – отбор с полки/стеллажа нужного груза и обеспечивает хорошую возможность интеграции с транспортными роботами. Кроме того, шаттлы перемещаются с высокой скоростью – до 5 м/с, обеспечивающую высокую производительность системы.

В качестве альтернативы лифтовым и карусельным система хранения может применяться **роботизированный склад**, широко применяемый для комплектации заказов на складах интернет-магазинов. В данном решении, хранение осуществляется в ячейках мобильных стеллажей, а загрузка/выгрузка на станциях комплектации (Рис.5.7).



Рис. 5.7. Склад с роботом-штабелером

Перемещение стеллажей осуществляется мобильными роботами P-серии. Конфигурация мобильных стеллажей позволяет организовать как мелкоячеистое хранение, так и хранение крупногабаритных грузов на поддонах. Грузоподъемность мобильных роботов – до 1000 кг. Интеграция с транспортной внутрицеховой системой, для грузов, размещаемых в ячейках стеллажей, осуществляется с участием человека, перекладывающего на станции комплектации грузы из ячеек стеллажей на транспортные роботы, а для грузов, размещаемых на поддонах, может осуществляться автоматическая интеграция.

Еще одним решением для организации роботизированного склада являются роботы-погрузчики, описанные в предыдущей статье, посвященной внутрицеховым роботизированным транспортным системам РТНС. Такие роботы могут применяться для размещения на хранение и выдачу с хранения крупногабаритных грузов как на поддонах, так и с применением других видов тары. Стоит отметить, что роботы, применяемые в составе роботизированного склада, могут выполнять и функцию внутрицехового транспорта, доставляя единицы хранения к основному технологическому оборудованию.

5.3. Техническое обслуживание мехатронных и робототехнических систем

Эффективное использование мехатронных и робототехнических в значительной мере определяется четкой организацией их эксплуатации. Под эксплуатацией понимают совокупность действий по транспортировке, хранению, подготовке и использованию по назначению технических средств, а также их техническому обслуживанию и текущему ремонту. Сегодня мехатронные модули и системы находят широкое применение в следующих областях:

- станкостроение и оборудование для автоматизации технологических процессов;
- робототехника (промышленная и специальная);
- авиационная, космическая и военная техника;
- автомобилестроение (например, антиблокировочные системы тормозов, системы стабилизации движения автомобиля и автоматической парковки);
- нетрадиционные транспортные средства (электровелосипеды, грузовые тележки, электророллеры, инвалидные коляски);
- офисная техника (например, копировальные и факсимильные аппараты);
- элементы вычислительной техники (например, принтеры, плоттеры, дисководы);
- медицинское оборудование (реабилитационное, клиническое, сервисное);
- бытовая техника (стиральные, швейные, посудомоечные и другие машины);
- микромашины (для медицины, биотехнологии, средств связи и телекоммуникации);
- контрольно-измерительные устройства и машины;
- фото- и видеотехника;
- тренажеры для подготовки пилотов и операторов;
- шоу-индустрия (системы звукового и светового оформления) и др.

Очевидно, что для каждой из перечисленных областей присуще свои специфические особенности эксплуатации мехатронных модулей и систем. В тоже время можно выделить некоторые общие положения

эксплуатации и обслуживания рассматриваемых мехатронных и робототехнических систем.

Техническое обслуживание (ТО) – это комплекс организационно-технических мероприятий, обеспечивающих поддержание исправности и работоспособности ПР при подготовке и использовании их по прямому назначению. ТО является одним из этапов технической эксплуатации, главная задача которого–поддержание надежности работы изделия. Эта задача решается путем выбора оптимальной периодичности профилактических работ и быстрого восстановления его работоспособности для обеспечения требуемой вероятности исправной работы в произвольный момент времени. Не менее важной задачей ТО является организация и проведение технических мероприятий, благодаря которым параметры и характеристики изделия в течение всего периода эксплуатации будут находиться в требуемых по техническим условиям (ТУ) пределах. Профилактические работы занимают особое место в системе ТО и направлены на предупреждение преждевременного изнашивания, повреждений и отказов. Отказы предупреждают регулированием параметров элементов в пределах предусмотренного при проектировании диапазона, а также заменой элементов, у которых износ или рабочие характеристики близки к предельно допустимым. Конечная цель профилактики – окончательное исключение ремонта или выполнение его только при повреждениях, полученных в результате аварии.

При проведении профилактических работ с целью уточнения объема ремонта определяют техническое состояние ПР. Для этого производят контрольные замеры параметров и сравнение их с номинальными значениями, указанными в формуляре или в инструкции по эксплуатации. При несоответствии хотя бы одного из параметров номинальному значению ПР считается неисправным. В этом случае определяют причину неисправности и принимают меры для ее устранения. Объем планового ТО определяется при проектировании изделия и уточняется в период эксплуатации. Объем непланового (текущего) ТО определить заранее невозможно. Поэтому сокращение общей трудоемкости ТО достигается более тщательным выполнением профилактических работ и выбором их оптимальной периодичности. Это, в свою очередь, снижает вероятность появления повреждений и отказов, а значит уменьшает трудоемкость непланового ТО и затраты на него. Однако следует помнить, что основные материальные затраты на ТО

определяются необходимостью содержания высококвалифицированных специалистов.

Для сокращения затрат на ТО, составляющих основную часть эксплуатационных расходов, в современных автоматизированных системах предусматривается встроенная система автоматизированного контроля, которая может не только обнаружить отказы, но и выявить их причины. Такая система контроля позволяет оценить правильность функционирования и техническое состояние изделия в любой момент времени при участии менее квалифицированного персонала.

В перечень работ по ТО входят осмотр, контроль технического состояния ПР и системы управления, чистка, промывка и смазка узлов ПР, регулировка его отдельных систем, замена отдельных износившихся деталей и вышедших из строя элементов системы управления, чистка контактов элементов системы управления, проверка и наладка приводов и системы управления, а также работы по устранению неисправностей.

В комплекс работ по ежедневному обслуживанию входят проверки: визуальная; отсутствия вибрации ПР и отдельных его элементов; уровня шума механизмов ПР и мехатронных модулей; отсутствия нагрева подшипников; показаний манометров гидросистем; работы смазочных систем по маслоуказателям; отсутствия ударов в механизмах ПР и системах; плавности перемещения исполнительных механизмов и отсутствия рывков при реверсировании; отсутствия утечки масла; наличия и исправности защитных устройств, предохранительных щитков и кожухов; надежности захватных устройств, индикации и сигнализации системы управления. Помимо проверок оператор ежедневно протирает и очищает ПР, смазывает места и механизмы, требующие ежедневной смазки.

Одним из признаков изношенности подвижных сопрягаемых и вращающихся деталей в мехатронных модулях движения и ПР является наличие в масле продуктов износа. Интенсивность нарастания содержания металла в масле в функции времени характеризует скорость износа сопряженных деталей. Для определения этой зависимости через равные промежутки времени из гидросистемы ПР отбирают пробы масла' и определяют концентрацию металла в них. По данным измерения определяется степень износа. На практике для определения состава масла наиболее часто применяют спектрометр МФС-3, спектрограф

ИСП-30, а также фотоколориметр ФЭК-М. При отсутствии специальной аппаратуры чистота масла проверяется по цвету и форм пятна от капли масла, наносимого на фильтровальную бумагу. Черный цвет пятна указывает на недопустимое количество механических примесей. Измерение давления, расхода и утечек рабочей жидкости наиболее часто выполняется при диагностирований гидропривода ПР. Снижение давления и расхода рабочей жидкости в гидросистеме свидетельствует об износе деталей насоса, повышенных утечках жидкости и неправильной регулировке гидропривода. Признаком нарушения нормальной работы гидропривода может быть и повышенное давление. Давление в гидросистемах контролируется различными типами манометров и преобразователей давления. Серийно выпускаются пьезоэлектрические преобразователи ЛХ600, ЛХ604, ЛХ608 и др. При стендовых испытание ях применяют манометры М1М, в которых измеряемое давление рабочей жидкости преобразуется в пропорциональный по величине электрический ток, подводимый к электрическому показывающему или регистрирующему прибору. Для измерения подачи рабочей жидкости применяют расходомеры, основанные на эффекте Кармана, а также струйные, электромагнитные, ультразвуковые, тахометрические и др. Диагностирование систем управления ПР осуществляется по параметрам сигналов в контрольных точках электрических схем либо по периодическим проверкам функционирования с помощью специальных тестовых программ.

В организации технического обслуживания ПР важное место занимает обеспечение техники безопасности. При неправильном использовании и обслуживании роботы могут представлять опасность для работающих в том же помещении людей и оборудования. Установлено, что при регулярном техническом обслуживании роботы отличаются высокой степенью безопасности. Техническое обслуживание позволяет обнаружить незначительные повреждения, которые могут привести к несчастному случаю. Например, при малейшем повреждении гидравлического шланга может произойти утечка рабочей жидкости в виде струи высокого напора, которая может травмировать находящихся поблизости рабочих, если они не защищены в соответствии с требованиями технической безопасности. Могут возникнуть и более серьезные осложнения, приводящие к отказу комплекса, если допуска-

ется корродирование деталей системы управления. Даже при техническом обслуживании не исключается вероятность повреждений. В целях повышения безопасности применяют чувствительный к давлению настил, отключающий робот, если в его рабочую зону входит человек. Иногда вокруг ПР развешиваются тонкие пластиковые ленты, выполняющие роль занавеса и затрудняющие доступ к роботу. Для предотвращения опасных ситуаций используют щиты, ограждения, аварийные сигналы и предусматривают отключение самого робота. С этой же целью роботы оснащаются чувствительными устройствами, обнаруживающими факт нарушения границы зоны обслуживания, после чего следует запрет на любые действия ПР. Иногда рука робота жестко фиксируется в определенном положении механическим приспособлением. Это повышает безопасность в тех случаях, когда рабочий находится в рабочей зоне ПР, выполняя его техническое обслуживание.

5.4. Эксплуатация мехатронных и робототехнических систем

К эксплуатации мехатронных систем, ПР и созданных на их основе РТК может допускаться только персонал, прошедший специальное обучение по безопасному обслуживанию со сдачей экзамена специальной комиссии. Перед допуском на обслуживание РТК персонал должен получить вводный инструктаж, а в процессе работы строго руководствоваться инструкцией по безопасности труда. Вводный инструктаж проводится для ознакомления со специфическими особенностями данного производства, включая потенциально опасные участки, которые могут проявиться при нарушении требований безопасности труда. Обращается особое внимание на возможность появления опасностей при выполнении технологического процесса, на опасные зоны работающего оборудования, оградительные устройства и правила пользования ими, на необходимость перед началом работы убедиться в исправности и нормальном функционировании оборудования. Инструктаж должен сопровождаться показом безопасных методов и приемов работы. При изменении технологического процесса работы оборудования или в других случаях изменения условий труда для обслуживающего персонала должен проводиться внеочередной инструктаж.

Эксплуатация ПР и РТК должна проводиться в строгом соответствии с эксплуатационной документацией. Согласно ГОСТ 2.601–2013 эксплуатационными называются документы, предназначенные для

изучения изделия и правил его эксплуатации. В комплект эксплуатационных документов входят: техническое описание; инструкция по эксплуатации; инструкция по ТО; инструкция по монтажу, пуску, регулированию и обкатке на месте применения (сокращенно инструкция по монтажу); формуляр или паспорт; ведомости одиночного, ремонтного и группового комплектов ЗИПа; ведомость эксплуатационных документов. Техническое описание и инструкция по эксплуатации объединяются в один документ и предназначаются для следующих целей: изучения конструкции, принципа действия и правил эксплуатации ПР; изучения правил техники безопасности; руководства при обнаружении и устранении неисправностей и отказов; руководства при регулировочных и наладочных работах силами обслуживающего персонала; руководства при проведении ТО в процессе эксплуатации и при длительном бездействии.

В инструкции по ТО указываются меры безопасности, порядок и правила ТО для различных условии эксплуатации. Большое внимание уделяется видам ТО, их периодичности; приводится перечень основных проверок для оценки технического состояния ПР, которые следует выполнять после каждого вида ТО.

Основной раздел инструкции по монтажу содержит требования по монтажу, регулировке, наладке и вводу в действие ПР в период монтажных и наладочных работ, а также в период приемо-сдаточных испытаний. В инструкции излагаются также меры предосторожности и правила пожарной безопасности при выполнении работ, даются указания по проведению технических мероприятий при транспортировании, установке и хранении ПР на месте эксплуатации.

Формуляром называется документ, в котором приводятся гарантированные заводом-изготовителем основные параметры и технические характеристики ПР и отражаются сведения по его техническому использованию, обслуживанию и ремонту за весь период эксплуатации. Например, по мере технического использования ПР в формуляр заносятся сведения о замене и восстановлении деталей, о наработке ПР с начала эксплуатации, о моменте возникновения неисправностей и отказов. В формуляре записываются способы отыскания и устранения неисправностей и затраченное на них время. Формуляр является единственным из эксплуатационных документов, в котором отражаются все

изменения, происходящие с ПР в процессе эксплуатации. По этой причине формуляр всегда хранится совместно с изделием.

Паспорт предназначен для тех же целей, что и формуляр. Он выпускается для мехатронных и робототехнических систем, гидравлических, пневматических и электрических устройств и приборов, поставляемых по ТУ.

Ведомости ЗИПа являются документами, определяющими номенклатуру, необходимое количество, назначение и укладку запасных частей, инструмента, принадлежностей и материалов, необходимых для обеспечения и восстановления работоспособности ПР в течение всего периода эксплуатации, включая заводской средний ремонт с выводом ПР из эксплуатации.

Ведомость эксплуатационных документов содержит перечень документов с указанием мест их укладки.

Перед первоначальным включением устройства в работу обслуживающий персонал должен тщательно изучить основной эксплуатационный документ – техническое описание и инструкцию по эксплуатации. Особо внимательно необходимо изучить разделы, касающиеся пультов управления оператора и мер безопасности при эксплуатации ПР. Основными причинами возникновения аварийных ситуаций могут явиться: неправильные (непредусмотренные) движения ПР; ошибочные действия оператора при обслуживании ПР, работающего в автоматическом режиме (в том числе появление человека в рабочем пространстве ПР, ошибки в программировании и т. п.); отсутствие четкой информации оператору о ситуации в рабочей зоне ПР, параметрах движения ПР и причинах, возникающих на РТК неполадок. Таким образом, для обеспечения безопасности труда при эксплуатации ПР и РТК наряду с использованием специальных технических средств необходимо применять соответствующие приемы и методы проведения работ, а также строго соблюдать регламентированные режимы эксплуатации ПР.

Неполадки и аварийные ситуации, которые возникают в процессе эксплуатации ПР, должны ежемесячно регистрироваться оператором или наладчиком в специальном журнале.

Перед началом работы оператор должен убедиться в исправном состоянии основного и вспомогательного технологического оборудования, средств обеспечения безопасности, в отсутствии посторонних лиц и предметов в рабочем пространстве ПР.

Для обеспечения движений ПР в соответствии с требованиями технологического процесса необходимо произвести ввод программы. Непосредственному программированию предшествует разработка алгоритма функционирования управляющей программы. Этот алгоритм формируется с учетом специфики конкретного технологического процесса и оборудования. В указанном алгоритме определяется последовательность использования всей требуемой для функционирования ПР информации, включая очередность выполнения отдельных операций и длительность их реализации. Помимо этого, в алгоритме предусматривается информация, необходимая для обеспечения взаимодействия ПР с оборудованием. Особенности программирования ПР в значительной степени определяются их назначением. Так, управляющая программа ПР, выполняющего окрасочные, сварочные и другие аналогичные работы, представляет собой не разветвляемую последовательность выполняемых операций, которая запоминается в режиме обучения. Управляющая программа ПР, обслуживающего металлорежущие станки, в значительной степени определяется как его конструкцией, так и числом единиц оборудования. Управляющая программа промышленных роботов набирается непосредственно с пульта оператора путем нажатия соответствующих кнопок. Контроль правильности набора осуществляется по цифровому дисплею. Если программа набрана верно, нажимается кнопка ЗП (запись) и производится загрузка программы в ячейку ОЗУ с выбранным адресом. Ввод последующей команды производится аналогично. В робототехнике широкое используется программирование методом обучения. Процесс обучения подразделяется на следующие виды:

- обучение ПР с целью формирования кадров управляющей программы. Производится путем задания оператором рабочих движений ПР, при которых положение рабочего органа определяется показаниями датчиков положений звеньев ПР;

- обучение ПР адаптивным формам поведения. Осуществляется путем ввода алгоритмов коррекции управляющих программ при изменении внешних условий, либо ввода в память данных о положении и характеристиках объектов внешней среды.

Системы обучения следует подразделять на три класса:

А – простейший, обучение производится путем ввода в память устройства программного управления последовательности состоянии

ПР и технологических команд. Возможно наличие линейной интерполяции, средства организации адаптивной работы ПР отсутствуют. Точность рабочих движений ПР соответствует точности движения в процессе обучения. При изменении размеров или ориентации рабочего органа ПР требуется переобучение ПР;

В – расширенный, средства класса А дополняются средствами редактирования исходной формы управляющей программы, линейной, круговой (и возможно других типов) интерполяции и средствами обратного преобразования координат для ПР непрямоугольной кинематической схемы. Обучение производится путем организации движений в системе координат объектов внешней среды с использованием обратного преобразования координат. Допускается использование средств трансляции исходной формы управляющей программы в рабочую форму вне режима реального времени после окончания процесса обучения и до включения рабочего режима. Изменение размеров или ориентации рабочего органа ПР не требует переобучения ПР;

С –высший, обучение производится комбинированным методом и обеспечивает получение адаптивной управляющей программы в виде последовательности операторов и команд условных переходов в системе команд ЭВМ устройства программного управления и соответствующих структур данных, содержащих все необходимые числовые параметры и операции для выполнения рабочих движений и контрольных действий ПР с адаптацией к неизвестным параметрам рабочего процесса. Точность рабочих движений ПР соответствует точности работы его системы управления, определяемой ТУ на ПР. Использование специальных видов интерполяции, преобразований координат и трансляции обеспечивает повышение производительности обучения по сравнению с системой класса А.

Обучение с целью последующего воспроизведения роботом рабочей программы является наиболее распространенным методом управления промышленными роботами. Программирование обучением выполняется за несколько шагов:

– обучение робота в медленном режиме при ручном управлении для выполнения технологической операции и запись углов суставов робота с целью повторного воспроизведения движения;

– корректировка и воспроизведение обученного движения;

– если обученное движение правильно, робот приступает к выполнению повторяющихся операций с заданной скоростью.

Обучение робота может проводиться в системе координат сочленений **joint,** мировой системы координат **world** или координат рабочего органа **tool**, путем непосредственного ввода численных значений координат обученной точки либо с использованием режима пульта.

В последнем случае робот выводится в нужную позицию и текущие координаты запоминаются. Для обычной точки запоминаются координаты **X,Y,Z, o, a, t,** а для прецизионной точки- $\mathbf{q^1}$, $\mathbf{q^2}$, $\mathbf{q^3}$, $\mathbf{q^4}$, $\mathbf{q^5}$, $\mathbf{q^6}$.

При обучении робота следует помнить, что в случаях, когда требуется сохранить ориентацию инструмента относительно рабочей поверхности, необходимо применять обучение в системе координат **world** или **tool.** Обучение в системе **world** можно применить, если, рабочая поверхность параллельна плоскости XY мировой системы координат. При этом следует учитывать, что положение системы **world** может быть перемещено на эту плоскость с помощью инструкции BASE. При обучении схват манипулятора движется вдоль осей повернутой базовой системы координат, относительно которой будут запоминаться координаты обученной точки. При использовании точек, запомненных относительно смещенной базовой системы координат, в управляющей программе необходимо указать величину смещения базовой системы координат с помощью инструкции BASE X,Y,Z.

При обучении в системе координат инструмента необходимо обеспечить желаемую ориентацию системы **tool** относительно рабочей плоскости, после чего схват манипулятора будет двигаться вдоль осей системы **tool,** а координаты точки будут запоминаться в мировой системе координат **world.** Данный метод применяется в случае более сложного расположения рабочей поверхности либо, когда требуется сохранить ориентацию инструмента на всей траектории движения. В более общих случаях используется одновременно обучение во всех трех системах координат. Если при обучении использовалась инструкция BASE, то данная инструкция должна быть также применена и в управляющей программе.

В процессе эксплуатации в мехатронных и робототехнических устройствах периодически возникают различного рода неисправности. Многие современные модели имеют весьма сложное схемное построение, и зачастую процесс отыскания в них неисправностей бывает таким же сложным и очень трудоемким, что требует от специалиста,

осуществляющего ремонт, хороших знаний и навыков работы. Ремонт изделий в основном осуществляется в соответствии с общими принципами ремонта модулей, блоков и самого оборудования, но следует иметь в виду, что есть и характерные отличия, связанные с технологией изготовления, спецификой использования, условиями эксплуатации мехатронных составляющих. Процедура ремонта любого технического объекта может быть представлена в виде последовательности мероприятий, основными из которых являются:

• установление факта неработоспособности;

• определение отказавшего блока (модуля);

• выявление неисправных элементов в вышедшем из строя блоке (модуле);

• восстановление вышедших из строя блоков (модулей);

• контроль работоспособности устройства;

• регулировка устройства.

Неисправности могут быть вызваны различными факторами. Их можно разделить на механические и электрические.

Механические неисправности связаны с поломкой или повреждением элементов различных кинематических схем привода, загрузки носителей информации, галетных или кнопочных переключателей, механизмов настройки и многих других.

Электрические неисправности вызываются выходом из строя тех или иных элементов электрической принципиальной схемы, а также дефектами монтажа. Большинство механических неисправностей и в ряде случаев – электрических выявляются при проведении визуального осмотра аппаратуры. Визуальным осмотром определяют качество монтажа, отсутствие обрывов в печатных дорожках и проводниках, качество паек (холодные пайки), а также контролируют соответствие номиналов резисторов и емкостей конденсаторов (рабочих напряжений) требованиям принципиальных схем. Часто при визуальном осмотре выявляются обуглившиеся резисторы, вздутые электролитические конденсаторы, наличие подтеков пропиточного материала в трансформаторах, механические повреждения в керамических конденсаторах и др. О наличии электрических неисправностей в аппаратуре могут свидетельствовать запахи от перегретых обмоток трансформаторов, дросселей, резисторов, изменение тона звуковых колебаний, вызванных работой трансформатора (гул с частотой 50 Гц). При проведении визу-

ального осмотра необходимо вручную проверять качество крепления механических узлов (трансформаторов, дросселей, переключателей электрических конденсаторов, переменных и полупеременных резисторов и др.).

После проведения ремонта проводится контроль работоспособности оборудования, который заключается в проверке нескольких технических параметров (например, проверяется, регулируется резкость и яркость изображения телевизионного приемника устройства видеоконтрольного и т. д.). Если контроль работоспособности объекта дал положительные результаты, то проводится регулировка. Практика показывает, что найти причину неисправности в современном оборудовании, комплексе часто бывает значительно сложнее, чем устранить ее. Знание наиболее распространенных практических методов поиска места отказа позволит провести ремонт с наименьшими затратами времени и средств.

Описание моделей объектов ремонта. Процесс поиска неисправностей в устройствах представляет собой совокупность элементарных проверок, т. е. физических экспериментов над ремонтируемым устройством, целью которых является изучение его реакции на некоторое воздействие. Выявить неисправность можно только в том случае если существует такое тестовое воздействие, реакция на которое у работоспособного и неработоспособного устройств различна. В общем случае может существовать несколько элементарных проверок, позволяющих выявить определенное техническое состояние устройства. Они различаются множеством контрольных точек, видом и последовательностью выходных тестовых воздействий. Разнообразие перечисленных возможностей вызывает необходимость разработки процесса поиска неисправностей в устройстве. Первый этап предполагает наличие некоторого описания ремонтируемого устройства и его поведения в работоспособном и неработоспособном состояниях. Описание в аналитической, векторной, графической или табличной форме называют *математической моделью ремонтируемого устройства.* Любое электронное устройство характеризуется зависимостью множества выходных параметров Y – {Y^ от множества входных $X = \{X_k\}$ и внутренних $A = \{A_J\}$ переменных. Поведение модели устройства в общем случае зависит от времени *t.*

$$Y = F(X, A). \quad (5.1)$$

Такая запись представляет собой систему передаточных функций работоспособного устройства. Неисправность, возникшая в устройстве, приводит к искажению передаточных функций, характеризуемых множеством моделей неработоспособного объекта:

$$Y = F(X, A^i > т), \quad (5.2)$$

где $i = 1, 2, 3, ..., m$ – номера неисправных состояний.

Часто в явном виде задается только модель (1) работоспособного устройства, а модели (2) подлежат разработке. Для большинства сложных устройств обычно не удается составить модель (2), используя только внешние узлы – основные входы и выходы. Поэтому эта система уравнений должна включать описание внутренних, электрических и временных зависимостей, выявленных на расширенном множестве функциональных узлов. Обозначим множество всех допустимых элементарных проверок ремонтируемого устройства P = {P}. Допустимыми будем считать все физически осуществимые элементарные проверки при поиске неисправностей. Каждая проверка характеризуется значением *X* воздействия, подаваемого на ремонтируемое устройство, составом контрольных точек и значением реакций устройства на эти воздействия. Число возможных результатов проверки определяется числом контрольных точек в устройстве и числом воздействий на него. Ответные реакции на входные воздействия Xj соответственно для работоспособного и неработоспособного устройств определяются следующими уравнениями:

$$R = F(A). \quad (5.3)$$

Элементарные проверки позволяют обнаруживать любое состояние из множества неработоспособных состояний устройства, если найдется хотя бы одна проверка P, для которой ответные реакции у работоспособного R и неработоспособного P. устройств различны, т. е. P не равно R. Для разработки процедуры поиска неисправностей необходимо получить множество реакций для всех допустимых элементарных проверок P и выбрать те проверки из множества {P}, которые позволяют различить все состояния из множества технических состояний устройства S. Процесс поиска неисправности при этом требует глубокого анализа результатов измерений большого числа вычислительных операций и многократного сравнения их результатов. Ввиду сложности аналитические методы разработки этого процесса нашли применение в тех случаях, когда устройства по схемным решениям просты и мощность

множества технических состояний ограничена (например, только с одиночными неисправностями), а элементарные проверки проводятся с помощью однотипных входных воздействий. Более проста, наглядна и удобна при анализе и разработке процедуры поиска неисправностей табличная модель устройства. Очевидно, что достоверно обнаруживать неисправности в устройствах помогает множество элементарных проверок. Одна из задач оптимизации этого процесса состоит в сокращении числа элементарных проверок, обеспечивающих требуемую глубину поиска неисправностей.

Требования безопасности при обслуживании и эксплуатации мехатронных и робототехнических систем изложены в ГОСТ Р 60.1.2.2-2016/ИСО 10218-2:2011. При разработке ПР и средств защиты лиц и обслуживающего персонала должны учитываться специфические свойства ПР, связанные с особенностями конструкции, выполняемых функций, динамики и алгоритмов управления перемещением рабочих органов. Средства защиты должны быть разработаны с учетом необходимости нахождения обслуживающего персонала в рабочем пространстве ПР при его включении, программировании, контроле и обслуживании, при этом должна быть учтена возможность возникновения опасной ситуации, связанной с несогласованностью работы ПР и сопряженного с ним оборудования. Способ защиты лиц и обслуживающего персонала должен быть выбран с учетом анализа конструкции ПР, методов его программирования и обслуживания. Перед выбором способа защиты должны быть определены вредные производственные факторы и оценен риск (степень риска) возникновения опасной ситуации.

Обеспечение безопасности лиц и обслуживающего персонала должно основываться на следующих принципах:

- во время производственного процесса не допускается нахождение лиц и обслуживающего персонала в рабочем пространстве;

- во время программирования, контроля, обслуживания и в других случаях, требующих нахождения обслуживающего персонала в рабочем пространстве ПР, вероятность возникновения опасной ситуации должна быть минимальной.

Для обеспечения выполнения этих принципов могут быть реализованы следующие мероприятия:

- ограничение рабочего пространства с помощью физических барьеров, защитных ограждений, в том числе с блокировками, а также использование устройств обнаружения;

- организация рабочих мест обслуживающего персонала таким образом, чтобы все работы по наладке и обслуживанию ПР производились вне рабочего пространства;

- внедрение дополнительных мер защиты обслуживающего персонала, разрабатываемых в зависимости от конструктивных особенностей ПР и необходимых для обеспечения безопасности в случаях, когда нахождение обслуживающего персонала в рабочем пространстве не может быть полностью исключено.

Вопросы для самопроверки

1. Охарактеризуйте структуры автоматизированных производств в зависимости от серийности выпускаемой продукции.
2. Объясните структуру роботизированных комплексов.
3. Охарактеризуйте структуру гибкой производственной системы.
4. Какие требования предъявляются к роботизированным транспортно-накопительным системам?
5. Приведите примеры устройства роботизированных складов.
6. В чем заключается техническое обслуживание роботов и мехатронных систем?
7. То входит в перечень работ по ТО?
8. Виды организации эксплуатации оборудования.
9. Назовите признаки изношенности деталей.
10. Назовите признаки изношенности элементов пневмо и гидропривода.
11. Назовите признаки изношенности элементов электропривода.
12. Назовите признаки изношенности системы управления.
13. Назовите состав эксплуатационных документов.
14. Регламент работ перед пуском оборудования.
15. Как формируется управляющая программа для робота и мехатронной системы?
16. Как осуществляется обучение робота?
17. Назовите классы систем обучения роботов.
18. Что является моделью ремонтируемого изделия?
19. Назовите основные требования безопасного обслуживания мехатронных и робототехнических систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии рассмотрены вопросы построения исполнительных устройств роботов и мехатронных модулей, их информационных и управляющих устройств; структура роботизированных технологических центров. Проанализированы организация и проведение монтажных работ робототехнических и мехатронных систем, включая механическую часть, устройств пневмо- и гидросистем, устройств управления и электрооборудования, роботизированных технологических комплексов. Представлены основы наладки механических устройств промышленных роботов и мехатронных систем и их компонентов, параметрическая настройка регуляторов тока, скорости и положения в электроприводах роботов и мехатронных систем, в том числе по компьютерным моделям, пример наладки мехатронной системы металлорежущего станка и мехатронной системы лазерного технологического комплекса. Описаны также методы и средства испытаний и диагностики роботов и мехатронных систем, основы их эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт промышленных роботов. Малахов М. В., Нейбергер Н. А., Сидорин Г. Н. – М.: Металлургия, 1989. 224 с.

2. Введение в мехатронику: Уч. пособие / Грабченко А.И., Клепиков В.Б., Доброскок В.Л., Крыжный Г.К., Анищенко Н.В., Кутовой Ю.Н., Пшеничников Д.А., Гаращенко Я.Н. – Х.: НТУ "ХПИ", 2014. – 274 с. 3. Сырямкин В.И. Информационные устройства и системы в робототехнике и мехатронике: учеб. пособие. (Серия: Интеллектуальные технические системы). – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2016. – 524 с.

4. Бастрон, А.В. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации: учеб. пособие. Часть 1. – 2-е изд., испр. и доп. / А.В. Бастрон, А.В. Чебодаев, А.Г. Черных; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2016. – 291 с.

5. Таугер В. М. Конструирование мехатронных модулей : учеб. пособие. - Екатеринбург : УрГУПС, 2009. – 336 с.

6. Сибикин М.Ю. Технологическое оборудование. Металлорежущие станки : учебник М. : ФОРУМ, 2017. - 448 с.

7. Феофанов, А.Н. Техническое обслуживание, ремонт и испытание мехатронных систем [Текст] : учебник : для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования, обучающихся по специальности "Мехатроника и мобильная робототехника (по отраслям)" / А. Н. Феофанов, Т. Г. Гришина. - Москва: Академия, 2018. – 302с.

8. Науменко, А. П. Введение в техническую диагностику и неразрушающий контроль : учеб. пособие / А. П. Науменко ; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2019. – 152 с. : ил.

9. Биргер, И. А. Техническая диагностика / И. А. Биргер. – М. : URSS, 2019. – 240 с.

10. ГОСТ 16504–81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. – Введ. 1982-01-01. – М. : Стандартинформ, 2011. – 24 с.

11. ГОСТ20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения. Введ. 1991-01-01. – М. : Стандартинформ, 2010. – 11 с.

12. Глебов, Н. А. Надежность и диагностика устройств управления робототехническими и мехатронными системами : учеб. пособие для студентов специальностей "Роботы и робототехн. системы" и "Мехатроника" направления "Мехатроника и робототехника" / Н. А. Глебов ; М-во образования Рос. Федерации, Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (Новочеркас. политехн. ин-т). - Новочеркасск : ЮРГТУ, 2004. - 91 с.

13. Схиртладзе А. Г., Новиков В. Ю. Технологическое оборудование машиностроительных производств. – М.: Высш. шк., 2009.

14. ГОСТ Р 60.1.2.2-2016/ИСО 10218-2:2011 Роботы и робототехнические устройства. Часть 2. Робототехнические системы и их интеграция. Требования по безопасности для промышленных роботов. М. : Стандартинформ, 2020. – 70 с.

15. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник в 3-х т. Т.3: Проектирование станочных систем /Под общей ред. А.С. Проникова – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана; Изд-во МГТУ «Станкин», 2000.

16. М.А. Босинзон. Автоматизированные мехатронные модули линейных и вращательных перемещений./ Журнал «Приводная техника» №1,2002.с.10-19.

17. Умнов, В.П. Построение и моделирование манипуляционных исполнительных систем многофункциональных роботизированных технологических центров: учебное пособие / В. П. Умнов - Владимир: ВлГУ, 2016. – 118с.

18. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение : учебное пособие / Подураев Ю.В.. – Саратов : Ай Пи Ар Медиа, 2019. – 256 с.

19. Приводы серии CSD-DH/ Инструкция по эксплуатации БТКУ. 435121-001.001ИМ1. – С. Петербург, 2014. - 88с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.В.11 ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА МЕХАТРОННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Направление -
15.03.06 Мехатроника и робототехника
Профиль -
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____ *(подпись)*	Председатель _____ *(подпись)*
Волков Е.Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

Лекция 1. Общие понятия об информационной поддержке мехатронных производств 7
1.1. Этапы жизненного цикла промышленных изделий 9
1.2. Системный подход к информационной поддержке сложных систем: анализ, синтез, моделирование, оптимизация [2, 3] 14
Контрольные вопросы 27

Лекция 2. Машиностроительные и металлообрабатывающие производства 29
2.1. Гибкие автоматизированные системы и производства 30
2.2. Автоматизированные линии 38
2.3. Гибкие производственные системы механообрабатывающего производства 50
Контрольные вопросы 53

Лекция 3. Введение в процесс проектирования мехатронных систем 55
3.1. Основные принципы проектирования 56
3.2. Схема процесса проектирования 60
3.3. Системный подход к проектированию 67
Контрольные вопросы 76

Лекция 4. Системы автоматизированного проектирования в машиностроении 78
4.1. Общая характеристика систем автоматизированного проектирования 78
4.2. Структура и разновидности систем автоматизированного проектирования 113
4.3. Программные системы проектирования (примеры программ) [3] 116
Контрольные вопросы 124

Лекция 5. Интегрированный подход к разработке мехатронных систем 125
5.1. Системы PDM 126

5.2. Метод обмена данными 129
5.3. Тенденции в развитии интегрированных систем [10, 11] . . . 132
Контрольные вопросы 133

Лекция 6. Концептуальное проектирование и модернизация мехатронных систем 135
6.1. Основные положения 135
6.2. Инструментальные средства концептуального проектирования и модернизации систем 139
Контрольные вопросы 148

Лекция 7. Информационная поддержка жизненного цикла мехатронных систем 150
7.1. CALS-технологии (основные понятия) [1, 3] 150
7.2. STEP-стандарты [5] 158
7.3. Организация в STEP информационных обменов [1] 160
7.4. Проблемы практического использования CALS-технологий 162
Контрольные вопросы 165

Лекция 8. Основные прикладные методы и средства построения интегрированных мехатронных систем 167
8.1. Формирование общих проектных решений [3, 12, 13] 167
8.2. Построение модели процесса разработки мехатронных систем 170
Контрольные вопросы 188

Лекция 9. Автоматизированные системы управления мехатронными производствами [1, 3, 18] 190
9.1. Автоматизация управления предприятиями (АСУП) 190
9.2. Автоматизация управления технологическими процессами (АСУТП) 192
9.3. Информационные логистические системы 194
9.4. Автоматизированные системы делопроизводства 197
Контрольные вопросы 198

Заключение 200

Библиографический список 201

ВВЕДЕНИЕ

Информационная поддержка процессов создания и эксплуатации мехатронных (сложных) производств базируется на широком классе универсальных автоматизированных систем, предназначенных для использования на всех этапах жизненного цикла изделий (ЖЦИ). На этапах проектирования и подготовки производства используются интегрированные САПР – CAD, CAM, CAE, PDM, CAPP и др.; на этапа производства и реализации изделий – SCADA, CNC, MRP, ERP, MES и др.; на этапе эксплуатации и утилизации изделий – CRM, SQSM, MES.

Мировой опыт промышленного производства сложных изделий на современном уровне свидетельствует, что их создание невозможно без использования информационных систем поддержки производственных процессов. Такая поддержка получила название CALS (русская аббревиатура КСПИ) – Continuous Acquisition and Lifecycle Support (компьютерное сопровождение и поддержка жизненного цикла изделий). Данная система поддержки производственных процессов призвана заменить традиционную технологию создания и эксплуатации производственных процессов, которая отличается фрагментарным использованием автоматизированных систем. Она допускает дублирование и несогласованность данных, возможность рассмотрения недостаточно перспективных вариантов производственных процессов, в то время как лучший вариант остается нерассмотренным. При этом возможно недостаточно эффективное использование знаний, накопленных в процессе создания и эксплуатации производственных процессов [19].

Основное назначение CALS-технологий – обеспечение единого информационного пространства (ЕИП) и технологий для предоставления необходимой информации в нужное время, в нужном виде, в конкретном месте любому из участников жизненного цикла (ЖЦ) производственного процесса.

CALS-технологии развиваются прежде всего на базе САПР (на стадии создания мехатронных систем), хотя при этом рассматриваются также вопросы моделирования приложений: на начальных этапах моделирования сложных слабоструктурированных приложений используются методы функционального (IDEF0) и информационного (IDEF1X) моделирования систем и методы объективного моделирования на базе среды UML.

Информационная поддержка производственных процессов на стадии их эксплуатации осуществляется за счет применения автоматизированных систем управления мехатронными производствами (АСУП, АСУТП, логистических систем, автоматизированных систем делопроизводства).

Для успешного применения современных информационных технологий в промышленности и других отраслях народного хозяйства необходимо иметь квалифицированные кадры, знающие и умеющие использовать информационные технологии создания и эксплуатации сложных систем различного назначения.

Данный курс лекций направлен на базовую подготовку таких специалистов.

Курс лекций «Информационная поддержка мехатронных комплексов и производств» предназначен в первую очередь для бакалавров и магистров по направлению подготовки 15.03.06 – Мехатроника и робототехника, а также других технических направлений и специальностей, связанных с созданием и управлением сложными техническими системами.

В основу данных лекций положен опыт преподавания информационных технологий (отраженных в учебниках, монографиях и публикациях в научно-технических журналах) в ряде ведущих университетов России – МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГТУ «Станкин», УГАТУ (г. Уфа), МИРЭА и других.

Курс содержит 9 лекций, в которых отражены отдельные аспекты информационной поддержки сложных мехатронных систем и производств.

Авторы выражают благодарность рецензентам и всем коллегам за советы и рекомендации при обсуждении материала лекций.

Лекция 1
ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ ОБ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКЕ МЕХАТРОННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Современные производства сложной техники являются базой инновационной экономики, основанной для создания и производства наукоемких изделий, конкурентоспособных на мировых рынках.

Сложные производства базируются на согласованной работе многих предприятий. В свою очередь успешная производственная деятельность на каждом отдельном предприятии осуществляется с помощью автоматизированных систем управления производством и предполагает необходимость информационного взаимодействия этих систем. Такое же информационное взаимодействие должно существовать и между отдельными предприятиями при выпуске сложной продукции.

Мехатронная производственная система, представляющая единый комплекс электромеханических, электронных элементов и средств вычислительной техники, между которыми осуществляется постоянный динамически меняющийся обмен энергией и информацией, объединенный общей системой автоматического управления, обладающей элементами искусственного интеллекта, является научной и технической базой для создания современного производства сложной техники и физико-технических систем и процессов различного назначения с принципиально новыми функциями и свойствами.

Для обеспечения согласованной работы мехатронных производственных систем создается соответствующая информационная поддержка между элементами производственной системы по всей цепочке жизненного цикла промышленных изделий:

маркетинг > проектирование > подготовка производства > производство > реализация > эксплуатация > утилизация.

Форма, характер, содержание и назначение информационной поддержки различаются на каждом этапе жизненного цикла изделий. Кроме того, для взаимодействия автоматизированных систем разных предприятий нужна унификация не только формы, но и содержания проектной, технологической, эксплуатационной и другой информации о совместно производимой продукции.

Информационная поддержка сложных мехатронных производств на стадиях проектирования и управления действующими производствами обеспечивается за счет:

– стандартизации структуры проектной, технологической и эксплуатационной документации, а также языков ее представления;

– создания единого информационного пространства (ЕИП) для всех участников жизненного цикла изделия, в котором предусмотрено хранение, обработка и передача информации в объединенных компьютерных средах, а также обеспечен оперативный доступ к данным в нужное время и в нужном месте;

– создания интегрированных компьютеризированных производств и охватывающей их интегрированной автоматизированной информационной системы;

– применения технологии представления данных об изделии (набора методов для представления в электронном виде данных об изделии, относящихся к отдельным процессам жизненного цикла изделия);

– использования автоматизированных систем, называемых системами управления данными об изделии (проектными данными) – PDM (Product Data Management);

– набора методов информационного обеспечения реструктуризации и реинжиниринга производственных процессов (и бизнес-процессов) в целях повышения их эффективности.

В данном курсе лекций основное внимание будет уделено вопросам информационной поддержки методов проектирования и автоматизации управления предприятиями и технологическими процессами.

1.1. Этапы жизненного цикла промышленных изделий

Достижение поставленных целей на современных предприятиях, выпускающих сложные промышленные изделия, оказывается невозможным без широкого использования автоматизированных систем (АС), основанных на применении компьютеров и предназначенных для создания, переработки и использования всей необходимой информации о свойствах изделий и сопровождающих процессов. Специфика задач, решаемых на различных этапах жизненного цикла изделий, обусловливает разнообразие применяемых АС.

Все задачи, решаемые и выполняемые в процессе разработки и производства продукции, называются жизненным циклом (ЖЦ) промышленной продукции (изделий) (product life cycle). Основные этапы жизненного цикла промышленной продукции представлены на рис. 1.1. К ним относятся этапы проектирования, технологической подготовки производства (ТПП), производства, реализации продукции, эксплуатации и утилизации [1].

Этапы жизненного цикла для информационных систем или программного обеспечения (ПО) могут отличаться от приведенных на рис. 1.1.

На всех этапах жизненного цикла изделий имеются свои целевые установки. При этом участники жизненного цикла стремятся достичь поставленных целей с максимальной эффективностью. На этапах проектирования, ТПП и производства нужно обеспечить выполнение технического задания (ТЗ) при заданной степени надежности изделия и минимизации материальных и временных затрат, что необходимо для достижения успеха в конкурентной борьбе в условиях рыночной экономики.

Под эффективностью понимают не только снижение себестоимости продукции и сокращение сроков проектирования и производства, но и обеспечение удобства освоения и снижение затрат на будущую эксплуатацию изделий. Особую важность требование удобства эксплуатации имеет для сложной техники, например в таких отраслях, как авиа- или автомобилестроение.

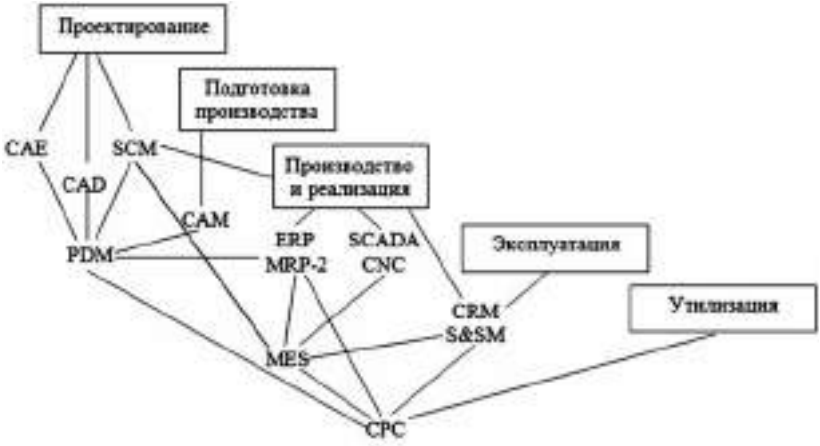


Рис. 1.1. Этапы жизненного цикла промышленных изделий и системы их автоматизации

Основные типы АС с их привязкой к тем или иным этапам жизненного цикла изделий указаны на рис. 1.1:

– CAE – Computer Aided Engineering (автоматизированные расчеты и анализ);

– CAD – Computer Aided Design (автоматизированное проектирование);

– CAM–$5omputer Aided Manufacturing (автоматизированная технологическая подготовка производства);

– PDM – Product Data Management (управление проектными данными);

– ERP – Enterprise Resource Planning (планирование и управление предприятием);

– MRP-2 – Manufacturing (Material) Requirement Planning (планирование производства);

– MES – Manufacturing Execution System (производственная исполнительная система);

– SCM – Supply Chain Management (управление цепочками поставок);

– CRM–$5ustomer Relationship Management (управление взаимоотношениями с заказчиками);

– SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition (диспетчерское управление производственными процессами);

– CNC–$5omputer Numerical Control (компьютерное числовое управление);

– S&SM – Sales and Service Management (управление продажами и обслуживанием);

– CPC–$5ollaborative Product Commerce (совместный электронный бизнес);

– PLM – Product Lifecycle Management (управление жизненным циклом изделий).

Современные САПР (или система CAE/CAD), обеспечивающие сквозное проектирование сложных изделий или, по крайней мере, выполняющие большинство проектных процедур, имеют многомодульную структуру. Модули различаются своей ориентацией на те или иные проектные задачи применительно к тем или иным типам устройств и конструкций. При этом возникают естественные проблемы, связанные с построением общих баз данных, с выбором протоколов, форматов данных и интерфейсов разнородных подсистем, с организацией совместного использования модулей при групповой работе. Эти проблемы усугубляются на предприятиях, производящих сложные изделия, в частности, с механическими и радиоэлектронными подсистемами, поскольку САПР машиностроения и радиоэлектроники до недавнего времени развивались самостоятельно, в отрыве друг от друга.

Для решения проблем совместного функционирования компонентов САПР различного назначения разрабатываются системы управления проектными данными – системы PDM. Они либо входят в состав модулей конкретной САПР, либо имеют самостоятельное значение и могут работать совместно с разными САПР.

Уже на этапе проектирования требуются услуги системы SCM, иногда называемой системой управления поставками комплектующих (Component Supplier Management), которая на этапе производства обеспечивает поставки необходимых материалов и комплектующих.

АСТПП, составляющие основу системы CAM, выполняют синтез технологических процессов и программ для оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ), выбор технологического оборудования, инструмента, оснастки, расчет норм времени и т. п. Модули систем CAM обычно входят в состав развитых САПР, и потому интегрированные САПР часто называют системами CAE/CAD/CAM/PDM.

Функции управления на промышленных предприятиях выполняются автоматизированными системами на нескольких иерархических уровнях. Автоматизацию управления на верхних уровнях от корпорации (производственных объединений предприятий) до цеха осуществляют АСУП, классифицируемые как системы ERP или MRP-2.

Наиболее известные системы ERP выполняют различные бизнес-функции, связанные с планированием производства, закупками, сбытом продукции, анализом перспектив маркетинга, управлением финансами, персоналом, складским хозяйством, учетом основных фондов и т. п. Системы MRP-2 ориентированы главным образом на бизнес-функции, непосредственно связанные с производством.

АСУТП контролируют и используют данные, характеризующие состояние технологического оборудования и протекание технологических процессов. Именно их чаще всего называют системами промышленной автоматизации.

Для выполнения диспетчерских функций (сбора и обработки данных о состоянии оборудования и технологических процессов) и разработки программного обеспечения для встроенного оборудования в состав АСУТП вводят систему SCADA. Для непосредственного программного управления технологическим оборудованием используют системы CNC на базе контроллеров (специализированных компьютеров, называемых промышленными), встроенных в технологическое оборудование.

На этапе реализации продукции выполняются функции управления отношениями с заказчиками и покупателями, проводится анализ рыночной ситуации, определяются перспективы спроса на планируемые к выпуску изделия. Эти задачи решаются

с помощью системы CRM. Маркетинговые функции иногда возлагаются на систему S&SM, которая, кроме того, служит для решения проблем обслуживания.

На этапе эксплуатации применяются специализированные компьютерные системы, предназначенные для ремонта, контроля, диагностики эксплуатируемых систем. Обслуживающий персонал использует интерактивные учебные пособия и технические руководства, а также средства для дистанционного консультирования при поиске неисправностей, программы для автоматизированного заказа деталей взамен отказавших.

Следует отметить, что функции некоторых автоматизированных систем часто перекрываются. В частности, это относится к системам ERP и MRP-2. Управление маркетингом может быть поручено как системе ERP, так и системе CRM или S&SM.

На решение оперативных задач управления проектированием, производством и маркетингом ориентированы системы MES. Они близки по некоторым выполняемым функциям к системам ERP, PDM, SCM, S&SM и отличаются от них именно оперативностью, принятием решений в реальном времени, причем большое значение придается оптимизации этих решений с учетом текущей информации о состоянии оборудования и процессов.

Перечисленные автоматизированные системы могут работать автономно, что в настоящее время обычно и происходит. Однако эффективность автоматизации будет заметно выше, если данные, генерируемые в одной из систем, будут доступны в других системах, поскольку принимаемые в них решения станут более обоснованными.

Чтобы достичь должного уровня взаимодействия промышленных автоматизированных систем, требуется создание единого информационного пространства не только на отдельных предприятиях, но и, что более важно, в рамках объединения предприятий (системы CPC или PLM – Product Lifecycle Management).

Единое информационное пространство обеспечивается благодаря унификации как формы, так и содержания информации о конкретных изделиях на различных этапах их жизненного цикла. Унификация формы достигается использованием стандартных

форматов и языков представления информации в межпрограммных обменах и при документировании, т. е. применением так называемых CALS (Continious Acquisition and Lifecycle Support) – технологий, которые будут рассмотрены ниже.

Более подробно основные функции, проектные процедуры и программное обеспечение АС различных этапов жизненного цикла промышленных изделий (см. рис. 1.1) будут описаны в последующих лекциях.

1.2. Системный подход к информационной поддержке сложных систем: анализ, синтез, моделирование, оптимизация [2, 3]

Системный подход

Системный подход является общим подходом, выражающим основные идеи и принципы, используемые при создании и управлении сложными техническими системами. Системный подход включает в себя самостоятельные математические дисциплины, такие как «Системный анализ» и «Теория систем».

В широком смысле системный анализ – это дисциплина, занимающаяся проблемами принятия решений, когда выбор альтернативы требует анализа сложной информации различной физической природы. Системный анализ возник в связи с необходимостью вести исследования междисциплинарного характера при создании сложных систем (технических, экономических, экологических). Основы системного анализа лежат в дисциплинах, занимающихся проблемами принятия решений, – теории исследования операций и общей теории управления.

В узком смысле системный анализ включает в себя выявление структуры системы, типизацию связей (группировка связей по характерным принципам), определение свойств (атрибутов) системы, анализ влияния внешней среды и разработку системы управления.

В отличие от системного анализа теория систем носит прикладной характер, ориентированный на решение конкретных прикладных задач.

В технике дисциплину, в которой исследуются сложные технические системы и их проектирование, чаще всего называют «Системотехникой» (вместо «Теория систем» и «Системный анализ»). Предметом системотехники являются, во-первых, организация процесса создания, использования и развития технических систем, а во-вторых, методы их проектирования и исследования.

Следуя [3], рассмотрим ряд основных понятий и терминов системотехники.

Система – множество элементов, находящихся в отношениях и связях между собой.

Элемент – такая часть системы, представление о которой нецелесообразно подвергать при проектировании дальнейшему членению.

Сложная система – система, характеризуемая большим числом элементов и, что наиболее важно, большим числом взаимосвязей элементов. Сложность системы определяется также видом взаимосвязей элементов, свойствами целенаправленности, целостности, членимости, иерархичности, многоаспектности. Очевидно, что современные автоматизированные информационные системы и, в частности, САПР являются сложными в силу наличия у них перечисленных свойств и признаков.

Подсистема – часть системы (подмножество элементов и их взаимосвязей), которая имеет свойства системы.

Надсистема – система, по отношению к которой рассматриваемая система является подсистемой.

Структура – отображение совокупности элементов системы и их взаимосвязей; понятие структуры отличается от понятия самой системы также тем, что при описании структуры принимают во внимание лишь типы элементов и связей без конкретизации значений их параметров.

Параметр – величина, выражающая свойство или системы, или ее части, или влияющей на систему среды. Обычно в моделях

систем в качестве параметров рассматривают величины, не изменяющиеся в процессе исследования системы. Параметры подразделяют на внешние, внутренние и выходные, выражающие свойства элементов системы, самой системы, внешней среды соответственно. Векторы внутренних, выходных и внешних параметров далее обозначены $X = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$, $Y = (y_1, y_2, \ldots, y_m)$, $Q = (q_1, q_2, \ldots, q_k)$ соответственно.

Фазовая переменная – величина, характеризующая энергетическое или информационное наполнение элемента или подсистемы.

Состояние – совокупность значений фазовых переменных, зафиксированных в одной временной точке процесса функционирования (событие).

Поведение (динамика) системы – изменение состояния системы в процессе функционирования.

Система без последействия – ее поведение при $t > t_0$ определяется заданием состояния в момент t_0 и вектором внешних воздействий $Q(t)$. В системах с последействием, кроме того, нужно знать предысторию поведения, т. е. состояния системы в моменты, предшествующие t_0.

Вектор переменных V, характеризующих состояние (вектор переменных состояния), – неизбыточное множество фазовых переменных, задание значений которых в некоторый момент времени полностью определяет поведение системы в дальнейшем (в автономных системах без последействия).

Пространство состояний – множество возможных значений вектора переменных состояния.

Фазовая траектория – представление процесса (зависимости $V(t)$) в виде последовательности точек в пространстве состояний.

К характеристикам сложных систем, как сказано выше, часто относят следующие понятия.

Целенаправленность – свойство искусственной системы, выражающее назначение системы. Это свойство необходимо для оценки эффективности вариантов системы.

Целостность – свойство системы, характеризующее взаимосвязанность элементов и наличие зависимости выходных пара-

метров от параметров элементов, при этом большинство выходных параметров не является простым повторением или суммой параметров элементов.

Иерархичность – свойство сложной системы, выражающее возможность и целесообразность ее иерархического описания, т. е. представления в виде нескольких уровней, между компонентами которых имеются отношения целое-часть.

В качестве примера сложной системы рассмотрим «Компьютер».

Компьютер является сложной системой в силу наличия у него большого числа элементов, разнообразных связей между элементами и подсистемами, свойств целенаправленности, целостности, иерархичности. К подсистемам компьютера относятся процессор (процессоры), оперативная память, кэш-память, шины, устройства ввода-вывода. В качестве надсистемы могут выступать вычислительная сеть, автоматизированная и (или) организационная система, к которым принадлежит компьютер. Внутренние параметры – времена выполнения арифметических операций, чтения (записи) в накопителях, пропускная способность шин и др. Выходные параметры – производительность компьютера, емкость оперативной и внешней памяти, себестоимость, время наработки на отказ и др. Внешние параметры – напряжение питания сети и его стабильность, температура окружающей среды и др.

Анализ, синтез, моделирование и оптимизация систем

Изучение сложных систем опирается на методы анализа, синтеза, моделирования и оптимизации систем.

Составными частями системотехники являются следующие основные разделы:

– иерархическая структура системы;

– анализ и моделирование систем;

– синтез и оптимизация систем.

Необходимость иерархической организации в технических системах – следствие их сложности, когда централизованная

обработка информации либо просто невозможна, либо требует такой затраты времени (или средств), которая недопустима по техническим условиям. Основная задача иерархической организации – распределение функций обработки информации и принятия решений между отдельными элементами системы.

Представление о производственной системе расчленяют на иерархические уровни. На верхнем уровне используются только самые общие черты и особенности производственной системы. На следующих – степень подробности описания возрастает (при этом рассматриваются уже отдельные блоки системы с учетом их взаимодействия), что позволяет на каждом иерархическом уровне формулировать задачи приемлемой сложности.

Для большинства приложений характерны следующие иерархические уровни:

– ***системный уровень***, на котором решаются наиболее общие задачи проектирования систем, машин и процессов; результаты проектирования представляют в виде структурных схем, генеральных планов, схем размещения оборудования и т. д.;

– ***макроуровень***, на котором исследуются отдельные устройства, узлы машин и приборов; результаты представляют в виде функциональных, принципиальных и кинематических схем, сборочных чертежей и т. д.;

– ***микроуровень***, на котором проектируют отдельные детали и элементы машин и приборов.

В каждом приложении число выделяемых уровней и их наименований может быть различным (в радиотехнике, вычислительной технике, машиностроении и т. п.). В машиностроении имеются уровни деталей, узлов, машин и комплексов.

В широком смысле ***анализ*** – это изучение конкретных фактов, вскрытие тонкой структуры явления (системы). ***Синтез*** – объединение различных факторов, построение структуры системы, развитие того или иного процесса, установление его связи с другими явлениями с учетом их взаимной обусловленности.

Основная задача научного анализа – выделить реальные взаимодействия (зависимости) материальных объектов из

множества мысленно допустимых и сформулировать принципы их отбора. Описание этих принципов отбора (в терминах и переменных, которые наиболее полно характеризуют изучаемый предмет) является предметом ***моделирования*** процессов (систем).

Моделирование имеет две четкие различимые задачи:

– создание моделей сложных систем (в англоязычном написании – modelind);

– анализ свойств систем на основе исследования их моделей (simulation).

Моделирование можно разделить на аналитическое и физическое. К аналитическому моделированию относятся математическое и имитационное моделирование, геометрическое, а также виртуальное моделирование. Физическое моделирование реализует физическую модель объекта (например, технология быстрого прототипирования – rapid prototyping).

В данной лекции рассмотрим только математическое и имитационное моделирование. Остальные виды моделирования будут рассмотрены в последующих лекциях.

Построение математических моделей является основой всего системного анализа. Это – центральный этап исследования или проектирования любой системы. От качества модели зависит судьба всего последующего анализа.

В качестве примера рассмотрим модель, которая используется для оптимизации некоторых действий.

Модель динамического процесса описывается дифференциальным уравнением вида

$$\dot{\chi} = f(x,t,u), \tag{1.1}$$

где вектор функции $U(t, x)$ называется управлением;

$x = (x_1, x_2, \ldots x_n)$ – вектор состояния системы.

Управление $U(t, x)$ выбирается из условия достижения некоторой цели. Весьма распространенный класс задач с помощью модели (1.1) можно описать следующим образом: за время T перевести систему из состояния

$$x(0) = x_0 \tag{1.2}$$

в состояние

$$x(T) = x_T \tag{1.3}$$

так, чтобы целевая функция $F(x,t,u)$ была минимальной, т. е.

$$\int_0^T F(x,t,u)dt \to \min. \tag{1.4}$$

Ограничения (1.2), (1.3) и целевую функцию (1.4) мы не включаем в понятие модели (1.1) (для одной и той же модели могут ставиться разные задачи).

Потребность и точность выбираемой или составляемой математической модели должны находиться в соответствии с требуемым качеством решения задачи. Излишняя подробность модели приводит к неоправданному увеличению машинного времени, недостающая – к неправильному результату. Весьма желательна проверка адекватности принятой модели.

Применение математических моделей для исследования и проектирования сложных систем связано с рядом принципиальных трудностей:

– отсутствие законченной постановки задачи исследования при незаконченном процессе познания объекта моделирования;

– сложные и трудные математические процедуры применения аналитических методов решения проблемных задача;

– необходимость изучать новые ситуации в сложных системах, о которых мало что известно;

– невозможность введения в изучаемую систему новых компонентов и т. д.

Для решения подобных задач мало наличие доброкачественной модели, необходима также надежная исходная информация. Но и информации еще не достаточно. Необходим определенный сервис. Так, система моделей должна быть доступна исследователю, варианты расчетов должны проходить достаточно быстро, должна хорошо функционировать система визуализации результатов. Должен быть предельно облегчен ввод новой информации, переход к новым вариантам расчета и т. д. Другими словами,

должна быть создана специальная «имитационная система». Отсюда следует, что «имитационная система – это совокупность моделей, имитирующих протекание изучаемого процесса, объединенная со специальной системой вспомогательных программ и информационной базой, позволяющих достаточно просто и оперативно развивать варианты расчетов. Имитационной системе присуща определенная архитектура, и она должна быть снабжена четкими продуктами ее использования» [2]. Имитационные системы могут быть успешно использованы в сложных задачах оптимизации.

Имитационное моделирование (ИМ) предполагает проведение численных экспериментов с математическими моделями, описывающими поведение систем, с привлечением для этого ЭВМ. Таким образом, имитационная модель представляет собой машинный аналог сложной системы, она позволяет заменить эксперимент с реальной системой экспериментом с математической моделью этой системы в ЭВМ. Поэтому ИМ так широко применяется для проектирования сложных объектов и для изучения сложных систем, особенно в тех случаях, когда реальный эксперимент слишком дорог или вообще невозможен.

Имитационное моделирование позволяет использовать как точную количественную информацию, так и информацию, полученную от экспертов с учетом оценок, суждений и различных эвристик. В этом состоит главное преимущество ИМ перед математическими моделями.

Имитационную модель сложной системы (СС) можно использовать при решении задач в следующих случаях:

– если не существует законченной постановки задачи исследования – идет процесс познания объекта моделирования; имитационная модель служит средством изучения явления;

– если аналитические методы имеются, но математические процедуры столь сложны и трудоемки, то имитационное моделирование дает более простой способ решения задачи;

– когда кроме оценки влияния параметров СС желательно наблюдение за поведением компонентов СС в течение определенного периода;

– если имитационное моделирование оказывается единственным способом исследования сложной системы из-за невозможности наблюдения явлений в реальных условиях;

– когда необходимо контролировать протекание процессов в СС путем замедления или ускорения явлений в ходе имитации;

– при подготовке специалистов и освоении новой техники, когда наимитационной модели обеспечивается возможность приобретения необходимых навыков в эксплуатации новой техники;

– когда изучаются новые ситуации в СС, о которых мало что известно или не известно ничего; в этом случае имитация служит для предварительной проверки новых стратегий и правил принятия решений перед проведением экспериментов на реальной системе;

– когда особое значение имеет последовательность событий в проектируемой СС и модель используется для предсказания «узких» мест в функционировании системы и других трудностей, появляющихся в поведении СС при введении в нее новых компонентов.

Недостатки ИМ: разработка хорошего ИМ часто обходится дороже создания математической модели и требует больших временных затрат; ИМ не может точно отражать реальную сложную систему (быть полностью адекватной сложной системе).

На рис. 1.2 показаны основные этапы имитационного моделирования.

Создание системы начинается с выбора ее структуры. Под структурой в общем случае принято понимать вид элементов, из которых состоит объект, и отношений между элементами. Так, завод как объект состоит из цехов, отделов, служб и т. д. Структура объекта может быть различной в зависимости от назначения объекта.

Синтез объекта (производственного процесса) в значительной степени определяет потребительские свойства будущей продукции. Следует отметить, что анализ и синтез непрерывно связаны друг с другом, так как анализ позволяет получить необходимую информацию для целенаправленного выполнения процедур синтеза в итерационном процессе разработки производственного процесса.

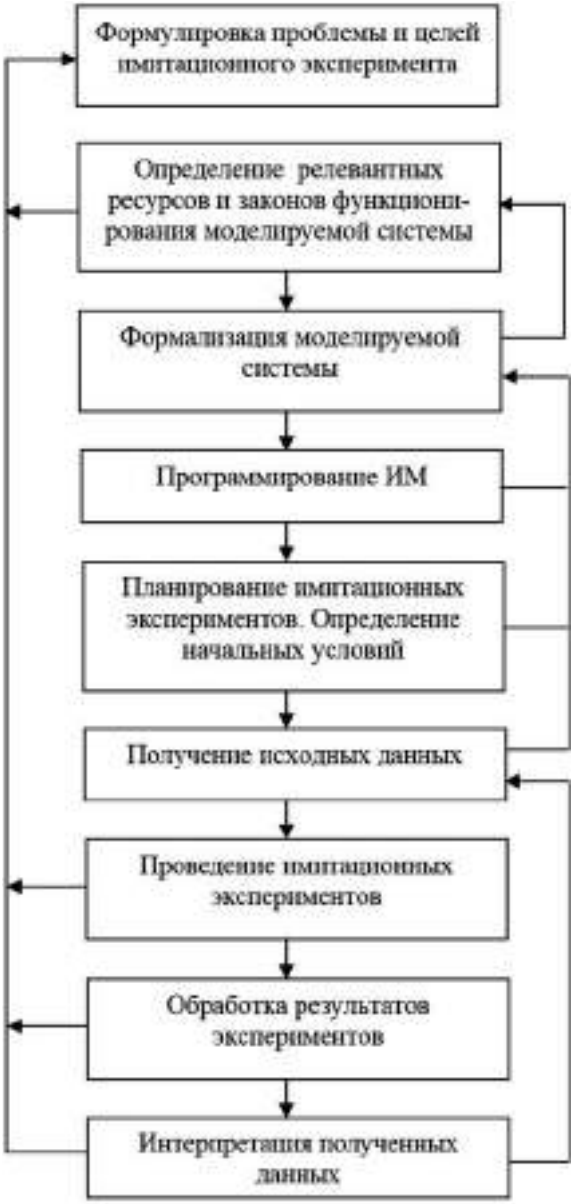


Рис. 1.2. Этапы имитационного моделирования

Синтез, как и анализ, подразделяется на две задачи:

– синтез структуры производственных процессов (систем) – *структурный синтез*;

– выбор численных значений параметров элементов систем – *параметрический синтез*.

Задача структурного синтеза формулируется в системотехнике как задача принятия решения (ЗПР). Ее суть заключается в выборе решения среди множества возможных решений и ограничивающих условий. Принятие решения охватывает широкий круг задач и процедур – от выбора вариантов в конечных и обозримых множествах до задач творческого характера, не имеющих формальных способов решения.

Задачи синтеза структур объектов относятся к наиболее трудно формализуемым. Существует ряд общих подходов к постановке этих задач, однако практическая реализация большинства из них не очевидна. Именно по этой причине структурный синтез, как правило, выполняют в интерактивном режиме при решающей роли инженера-разработчика, а ЭВМ играет вспомогательную роль: выполнение отдельных расчетов, предоставление необходимых справочных данных, фиксация промежуточных и окончательных данных. Имеются лишь отдельные примеры успешной автоматизации структурного синтеза технологических процессов и управляющих программ для механообработки в машиностроении, проектирования печатных плат и кристаллов БИС и некоторые другие. В целом постановки и методы решения задач структурного синтеза в связи с трудностями формализации не достигли степени обобщения и детализации, свойственной математическому обеспечению процессов анализа. Достигнутая степень обобщения выражается в установленной типичной последовательности действий и видов описания при их использовании в САПР. Большое значение для развития подсистем синтеза в САПР имеют разработка и унификация языков представления описаний (спецификаций).

Создание системы (производственного процесса) всегда начинается со *структурного синтеза*, который определяет общий облик будущей системы (одну из конструкций механизма, схему

технологического процесса). Но эти конструкции и схемы выбирают в параметрическом виде, т. е. без указания числовых значений параметров элементов. Поэтому нужно задать или рассчитать значения этих параметров, т. е. выполнить *параметрический синтез*. Примерами результатов параметрического синтеза могут служить, например, рабочие режимы (параметры) технологических операций производственного процесса.

В случае если по результатам анализа проектное решение признается неокончательным, то начинается процесс последовательных приближений к приемлемому варианту проекта. Во многих приложениях для этого удобно варьировать значения параметров элементов, т. е. использовать параметрический синтез на базе многовариантного анализа. При этом задача параметрического синтеза при неизменной структуре объекта может быть сформулирована как задача параметрической оптимизации (или просто оптимизации). Если параметрический синтез не приводит к успеху, то повторяют процедуру структурного синтеза (корректируют или перебирают структуру объекта).

Следуя [3], рассмотрим постановку задач параметрического и структурного синтеза.

Базовая задача параметрического синтеза (приведенная к задаче оптимизации) ставится как задача математического программирования:

$$\begin{gathered} extr\, F(X), \\ X \in Dx \\ Dx = \left\{ X \,/\, y(X) > 0,\ \ \psi(X) = 0 \right\}, \end{gathered} \tag{1.5}$$

где $F(X)$ – целевая функция; X – вектор управляемых (проектных) параметров; $y(X)$ и $\psi(X)$ – функции ограничения; Dx – допустимая область в пространстве управляемых параметров.

Запись (1.5) интерпретируется как задача поиска экстремума целевой функции путем варьирования управляемых параметров в пределах допустимой области. Таким образом, для выполнения расчета номинальных значений параметров необходимо,

во-первых, сформулировать задачу в виде (1.5), во-вторых, решить задачу поиска экстремума $F(X)$.

Базовая задача структурного синтеза формулируется как *задача принятия решения* (ЗПР) следующим образом:

$$ЗПР = \langle A, Y, Мод., П \rangle, \qquad (1.6)$$

где A – множество альтернатив проектного решения; $Y = (y_1, y_2, ..., y_m)$ – множество критериев (выходных параметров), по которым оценивается соответствие альтернативы поставленным целям; $Мод$: $A \rightarrow Y$ – модель, позволяющая для каждой альтернативы рассчитать вектор критериев; $П$ – решающее правило для выбора наиболее подходящей альтернативы в многокритериальной ситуации.

В свою очередь, каждой альтернативе конкретного приложения можно поставить в соответствие значение упорядоченного множества (набора) атрибутов $X = x_1, x_2, ..., x_n$, характеризующих свойство альтернативы. Множество X называют *записью* (в теории баз данных), *фреймом* (в искусственном интеллекте) или *хромосомой* (в генетических алгоритмах).

Во многих случаях удается построить в виде алгоритма математическую модель, позволяющую по заданному множеству X и заданной структуре объекта рассчитать вектор критериев Y. Такие модели получаются автоматически в программах анализа типа Spice Adams или ПА-9 для объектов, исследуемых на макроуровне. Для построения таких моделей можно использовать методы планирования экспериментов или подход, основанный на использовании искусственных нейронных сетей.

Если же математическая модель $A \rightarrow Y$ остается неизвестной, то ее создают на основе *экспертных систем*. В [3] описано большое число методов, входящих в состав математического обеспечения анализа и синтеза проектных решений.

Математический аппарат для каждого из иерархических уровней проектирования имеет свои особенности. На *микроуровне* типичные математические модели представлены дифференциальными уравнениями в частных производных вместе с краевыми условиями (такие модели называются распределенными).

Объектами исследования здесь являются поля различных физических величин (напряжений, температур, скоростей и т. д.).

Моделями *макроуровня* (*сосредоточенными* моделями) являются системы алгебраических и обыкновенных дифференциальных уравнений.

Моделями *системного* уровня моделирования сложных объектов (типа сложных производственных систем) является аппарат теории массового обслуживания, сетей Петри или имитационного моделирования.

Постановки и методы решения задач *структурного синтеза* относятся к наиболее трудно формализуемым и выполняются, как правило, в интерактивном режиме инженером-разработчиком. Процесс формального описания структурного синтеза (как было отмечено выше) часто сводится к задаче принятия решения или генетическим методам и алгоритмам.

Процедуры *параметрического синтеза* выполняются либо человеком в процессе многовариантного анализа (в интерактивном режиме), либо решаются на базе формальных методов оптимизации (как было описано выше). В последнем случае находят применение несколько постановок задач оптимизации в виде (1.5).

Последние достижения анализа и синтеза сложных производственных систем, базирующихся на принципах использования современных информационных технологий и программных комплексов, будут рассмотрены в последующих лекциях, посвященных проектированию и управлению производственными процессами.

Контрольные вопросы

1. Форма, характер, содержание и назначение информационной поддержки мехатронных производств.

2. Дайте характеристику этапов жизненного цикла промышленных изделий.

3. Назовите основные типы автоматизированных систем (АС) с их привязкой к тем или иным этапам жизненного цикла изделий.

4. Дайте определение «сквозного проектирования» сложных изделий и возникающих при этом проблем.

5. Дайте краткое определение АСТПП, АСУП и АСУТП.

6. Дайте определение понятия «Системный подход» в широком и узком смыслах.

7. Опишите основные понятия и термины системотехники (не цитируя дословно текст лекции).

8. Назовите признаки, присущие сложной системе, приведите собственный пример сложной системы.

9. Обоснуйте необходимость иерархической организации в сложных технических системах, укажите иерархические уровни производственных систем.

10. Укажите основные части (разделы) системотехники, назначение и задачи анализа и моделирования систем.

11. Опишите суть (основное содержание) аналитического и физического моделирования.

12. Обоснуйте необходимость применения математических моделей для исследования и проектирования сложных систем (принципиальные трудности моделирования).

13. Укажите требования, предъявляемые к математическим моделям (на примере имитационной модели).

14. Опишите основное назначение и область применения имитационного моделирования.

15. Основная задача синтеза и оптимизации сложных систем (структурный и параметрический синтез).

16. Порядок создания сложных систем (производственных процессов), постановка задачи параметрического и структурного синтеза.

Лекция 2
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ И МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИЕ ПРОИЗВОДСТВА

Металлургия, химическая промышленность, машиностроение и металлообработка являются взаимосвязанными базовыми производствами обрабатывающей отрасли промышленности. Машиностроение во многом определяет состояние производственного потенциала страны, являясь базой технического перевооружения всего общественного производства. Удельный вес продукции машиностроения и металлообработки в общем объеме промышленного производства в России составляет около 20 %.

Основными видами промышленного производства являются следующие производства: одиночное, мелкосерийное, серийное и крупносерийное, массовое, а также непрерывное и дискретное. Под дискретным производством понимается изготовление продукта, проходящего через конечное число технологических и сборочных операций. Непрерывное производство подразумевает изготовление продукта, претерпевающего непрерывные изменения, в результате которых заготовка превращается в готовую деталь. Вид производства оказывает существенное влияние на структуру, систему управления и стоимость продукции (эффективность), технологических процессов данных производств. Кроме того, вид производства определяет необходимый уровень гибкости производства. Под гибкостью производства понимается способность быстро и без существенных затрат труда и средств перестраиваться на изготовление новой или модернизированной продукции и на новые технологические процессы с новой их организацией. По сути дела, речь идет о новых организационных формах решения стратегических задач развития производства, его интенсификации

при ограниченных трудовых, материальных и энергетических ресурсов. Решения таких задач возможно только при условии полной автоматизации машиностроительного производства за счет создания комплексно автоматизированных производств, эффективность которых в первую очередь зависит от гибкости и степени интегрированности их структурных составляющих.

Высшей формой развития комплексно-автоматизированных производств являются гибкие производственные системы (ГПС) и гибкие автоматизированные производства (ГАП) [4].

2.1. Гибкие автоматизированные системы и производства

Такие производства позволяют быстро переходить на выпуск новой продукции, осуществлять ее модернизацию, совершенствовать технологию производства, прежде всего путем смены управляющих программ. Антиподом ГПС и ГАП в отношении гибкости являются автоматические линии (АЛ) с так называемой жесткой автоматизацией. Эффективность АЛ и ГПС зависит от видов производств (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Зависимость стоимости продукции от объема ее выпуска для различных видов производства [5]

Типовой состав ГАП в наиболее полном виде состоит из двух частей, приведенных на рис. 2.2:

– гибкая производственная система (ГПС), которая непосредственно реализует технологический процесс изготовления изделий;

– автоматизированные системы проектирования, подлежащих изготовлению изделий и технологической подготовки их производства, реализуемые с помощью показанных в нижней части рисунка автоматизированных рабочих мест (АРМ).

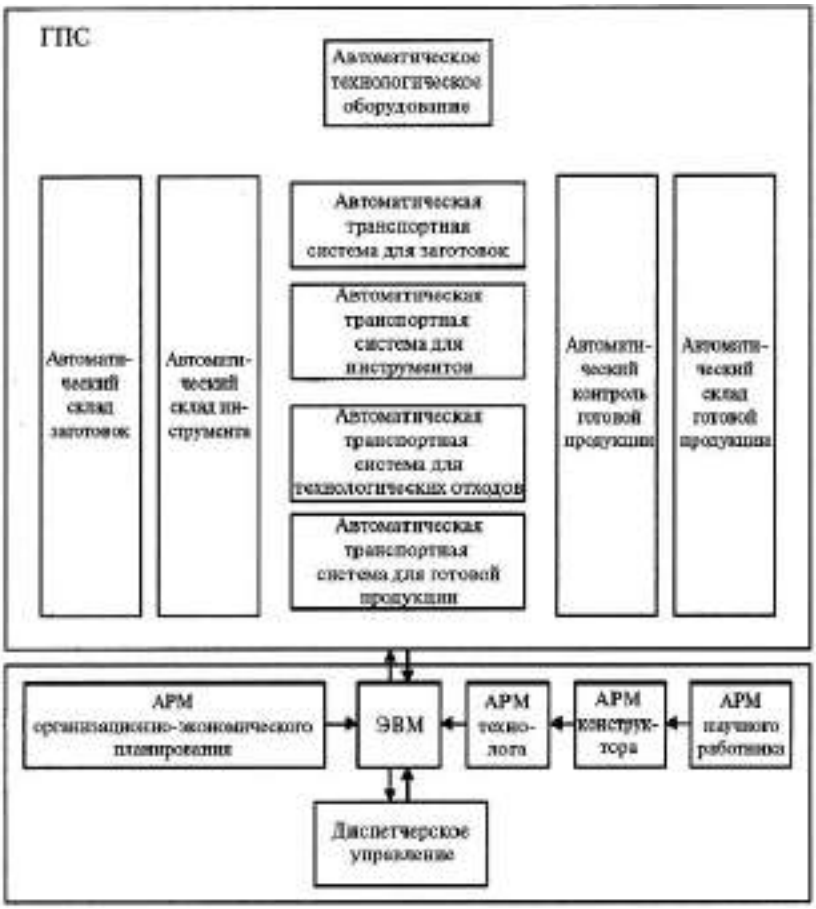


Рис. 2.2. Состав гибкого автоматизированного производства [5]

Части объединены общей автоматизированной системой управления (АСУ) на базе локальной компьютерной сети.

Предел, к которому стремится процесс гибкой автоматизации производства, можно кратко определить так:

– автоматическое производство изделий сколь угодно малыми партиями;

– себестоимость и производительность, близкие к достигнутым в современном массовом производстве;

– практически безлюдное производство – количество работающих, по сравнению с существующим, меньше на два порядка;

– комплексная автоматизация всех частей производства, включая технологические процессы, подготовку производства, разработку документации на выпускаемые изделия, планирование и управление производства в целом.

Таким образом, в максимально полном исполнении ГАП на его вход поступают технические задания на очередное изделие, а на выходе – готовая продукция. Весь процесс может происходить непрерывно на основе машинных носителей информации, т. е. без бумажной документации.

Для мелкосерийного производства степень его гибкости характеризуется количеством типов изделий, которые могут изготавливаться путем смены только программ. Типичные значения этой величины для современных ГАП металлообработки – десятки типов деталей и сотни их модификаций.

В мире внедрение гибкой автоматизации связывают со следующими конкретными достоинствами:

– повышение конкурентоспособности продукции (за счет более быстрой сменяемости выпускаемых изделий, повышения их качества, экономии ресурсов и труда);

– рост производительности;

– стабилизация производства и ускорение оборачиваемости капитала;

– повышение эффективности использования рабочей силы;

– создание новых технологических процессов и производств.

Основной принцип построения гибких производств – компоновка их из комплектно поставляемых унифицированных модулей. В соответствии с составом ГАП, показанным на рис. 2.2,

основными такими модулями являются технологические модули-ячейки, модули транспортные (в том числе на базе транспортных навесных и напольных роботов), складские (в том числе с роботами-штамбелерами), модули контроля качества продукции и технической диагностики оборудования. Последние модули образуют систему автоматического контроля качества, без которой невозможна автоматическая работа всего комплекса. В задачи таких систем входят собственно измерение контролируемых параметров, регистрация результатов этих измерений, визуализация их на терминалах, подача управляющих воздействий в системы управления оборудованием, когда по этим параметрам необходима автоматическая корректировка технологических процессов (например, в случае адаптивного управления станками, учитывающего износ инструмента, изменение размеров заготовок и т. п.). Примером оборудования, используемого в системах автоматического контроля ГАП, являются робототехнические контрольно-измерительные машины.

В ГПС, входящих в состав ГАП (см. рис. 2.2), используют прогрессивное оборудование для перемещения материала, управления станками, формообразования, а также для перспективных методов обработки. Степень необходимой гибкости системы зависит главным образом от объема производства и разнообразия деталей. Так, фирма Comau (США) изготовляет станки для обработки 3…40 деталей в час; на одной линии обрабатывается до 40 разнообразных деталей.

ГПС позволяют преодолеть трудности, связанные с производством групп деталей среднего объема. Эти системы объединяют станки с ЧПУ и автоматическое оборудование для перемещения материала. Система в целом и сам процесс обработки управляются с ЭВМ.

ГПС состоит из нескольких обрабатывающих модулей с ЧПУ; средств для транспортировки палет, размещения зажимов и хранения на участке; централизованного устройства управления движением палет и обрабатывающих операций; различных систем для контроля, наладки инструмента и коррекции, удаления стружки, промывки и продувки.

ГПС, по сравнению со специализированными станочными линиями, легко настраиваются на изменение номенклатуры деталей; новые детали можно обрабатывать при минимальных затратах времени и стоимости необходимого специализированного оборудования.

Основные преимущества ГПС – мгновенная реакция на потребности рынка сбыта, снижение затрат на производство деталей за счет сокращения времени, экономии площади и уменьшения капиталовложений, а также экономия за счет отказа от поступления запчастей извне. Способность обрабатывать детали различной конфигурации позволяет изготовителю осуществлять массовое производство за счет сочетания операций при изготовлении малых и средних партий деталей. Возможность обработки деталей произвольного ассортимента исключает необходимость складирования деталей в ожидании переналадки системы, в результате чего снижаются запасы промежуточных продуктов, потребность в площадях и обеспечивается гибкость планирования производства. Кроме того, к преимуществам ГПС следует отнести и то, что если один участок (или модуль с ЧУ) имеет отклонение от заданного режима работы, то это не влечет за собой отключения всей системы, так как операции неработоспособного модуля распределяются между оставшимися роботами. В результате темп производства снижается, но оно не останавливается. При использовании ГПС имеется возможность экономии производственных площадей за счет исключения специализированного оборудования, сокращения потребности в рабочей силе и снижения степени зависимости от операторов, улучшения условий труда и техники безопасности.

К преимуществам ГПС, по сравнению с обрабатывающими центрами, можно отнести:

– повышение коэффициента использования станков и возможность использования высокопроизводительных рабочих устройств (многошпиндельных головок);

– управление процессами от ЭВМ, обеспечивающее максимальную производительность или максимальный ассортимент обрабатываемых деталей;

– сокращение производственных площадей на 25…30 %;

– сокращение заделов (для некоторых операций и полное их исключение);

– возможность улучшения условий труда, снижение шума.

Чтобы обеспечить оборудованием производство групп деталей без дополнительных капиталовложений (на приобретение специализированного оборудования), фирма Comau запатентовала ГПС, основанную на следующих концепциях использования:

– специальные автономные модули ЧПУ, каждый из которых предназначен для конкретного типа обработки. Специализированный характер таких модулей снижает капиталовложения, упрощает и оптимизирует обработку (обрабатывающий центр, наоборот, представляет собой технический компромисс);

– модульный транспорт между станками;

– стандартизированные палеты; базирование и зажим специальными приспособлениями;

– оборудование модульной конструкции.

Примерами станочных модулей с ЧПУ являются фрезерный модуль MILL, модуль для сверления и нарезания резьбы метчиком DRILL-INDEX, модуль смены многошпиндельной головки MULTIFLEX (MFX), многоцелевой модуль MULTI-STORE (MSR), многоцелевой модуль с наклоняемым шпинделем MULTI-STORE-TILTING, токарный модуль TURN-INDEX.

Фрезерный модуль MILL имеет горизонтально обрабатывающее устройство с ЧПУ, шпиндель и подвижную стойку; движение по осям X, Y и Z обеспечивается антифрикционными направляющими плоского типа, приводимыми в действие серводвигателями; точность позиционирования по осям X и Y составляет ±0,05 мм по всей длине перемещения (для оси Z ± 0,03 мм). Фрезерная головка приводится в действие двигателем постоянного тока мощностью 1,5 кВт через двухскоростную коробку передач.

Модуль для сверления и нарезания резьбы содержит индивидуальный привод для шестипозиционной горизонтальной поворотной головки. Стойка движется по осям X и Y, перемещение по осям X, Y и Z обеспечивается плоскими направляющими, приводимыми в действие серводвигателем. Точность позиционирования

по осям X, Y и Z ±0,05 мм по всей длине хода. Шестипозиционная поворотная револьверная головка приводится в действие двигателем с постоянным крутящим моментом; двигатель постоянного тока мощностью 11 кВт (имеется три скорости). Модуль оснащен инфракрасным датчиком для контроля инструмента.

Модуль TAP-INDEX оснащен шестипозиционной поворотной револьверной головкой, установленной на подвижной стойке. Время смены инструмента 3 с. Точность позиционирования осей X, Y и Z ± 0,1 мм. Двигатель постоянного тока с постоянным крутящим моментом мощностью 5 кВт приводит в действие горизонтальный шпиндель, стандартная коробка передач обеспечивает две скорости. Инфракрасный датчик контролирует износ инструмента.

Модуль смены многошпиндельной головки MULTI-FLEX состоит из устройства для горизонтальной обработки с направляющими и ЧПУ; мощность привода шпинделя 11 кВт. На передней поверхности направляющих расположены установочные и зажимные устройства, а также устройство соединения привода шпиндельной головки. Горизонтальные механизмы барабанного типа емкостью до 6 головок располагаются по обе стороны направляющего устройства. При работе направляющих контроллер ЧПУ подает команду следующей (по последовательности операций) головке для поворота в положение загрузки. Второй барабан получает команду на поворот свободного гнезда в положение разгрузки. При возврате направляющих обе головки (в рабочем положении и положении ожидания) разжимаются и двигаются горизонтально. Затем головки зажимаются, приводится в действие привод, и цикл повторяется. Важно отметить, что головки из магазина могут использоваться произвольно, что позволит главной ЭВМ оптимизировать рабочую загрузку системы в целом. Модуль может использовать щуп; если используется поворотный стол и палета, которые могут поворачиваться на 180 °C, то зондирование производится щупом с несколькими головками, управляемыми от ЭВМ. Размер головки 600 × 600 мм.

Многоцелевой модуль MULTI-STORE состоит из обрабатывающего модуля с ЧПУ с подвижной стойкой и горизонтального

шпинделя с гидравлической балансировкой. Имеется автоматическая система смены инструмента с магазином емкостью 30 инструментов; время смены от 6 до 9 с. Движение по осям X, Y и Z осуществляется с помощью роликовых направляющих плоского типа, точность позиционирования ± 0,015 мм по всей длине перемещения обеспечивается прецизионными шариковыми парами. Система управления позиционированием использует позиционный преобразователь типа индуктосина, который после фиксирования оси зажимается во избежание сдвига. Шпиндель приводится в действие двигателем постоянного тока мощностью 11 кВт с коробкой передач на 2 скорости. Постоянная температура обеспечивается масляной системой охлаждения.

Транспортная система. В каждой ГПС существует, по крайней мере, один загрузочно-разгрузочный участок. В зависимости от вида обработки детали это может быть загрузочно-перегрузочно-разгрузочный участок, который включает в себя автоматические электромеханические затяжные устройства (горизонтальные и вертикальные), зажимающие деталь в палете; верхний специальный зажим (универсальный для большей части деталей); нижнюю стандартную часть палеты (общую для всех деталей стандартного перемещения). Все палеты транспортируются через систему с помощью рольганга модульного исполнения с цепным приводом. На каждом рабочем участке палеты устанавливаются, идентифицируются и получают от ЭВМ команду о направлении дальнейшего движения. Если участок занят или на нем выполняется операция, ЭВМ подает команду палете о перемещении к другому модулю или об обратном движении и возвращении на этот участок через какой-то период времени. Гидравлическая перемещающаяся штанга подает палету к возвращающемуся столу обрабатывающего модуля или отводит от него.

Контроль и управление ГПС. ГПС обычно имеет два основных уровня ЧПУ. При каждом обрабатывающем модуле система ЧПУ типа CNC или PCNC подает на станок команду о выборе требуемого инструмента с учетом последовательности обработки и вспомогательных функций. Второй уровень включает одну или две ЭВМ-супервизора. На этом уровне обеспечивается

координация всех модулей в системе. При введении в систему для обработки новой детали ЭВМ-супервизор проверяет наличие соответствующей программы по этой детали и наличие требуемых инструментов; если ЭВМ определяет, что система не может обрабатывать новую деталь, то деталь и ее палета не получают доступа в систему.

После установки детали в систему ЭВМ-супервизор оптимизирует прохождение детали по системе. Палета останавливается и опознается на каждом участке. Если модуль на ее пути занят или не работает, палета получает команду пропустить, обойти модуль и пройти механообработку на последующих модулях или повторно пройти весь путь и вернуться к этому модулю позже. ЭВМ-супервизор также управляет сменой инструментов в модуле, временем их работы и режимом. Составляются и регулярно печатаются отчеты, выводимые на дисплей, информируя оператора о необходимости замены инструмента. Если емкость магазина позволяет, ЭВМ разрешает использовать инструмент для заранее установленного числа циклов, а затем заменяет его запасным. Кроме того, ЭВМ-супервизор может контролировать и выдавать информацию о выпуске продукции, использовании станка, продолжительности работы, времени простоя и результатах контроля.

2.2. Автоматизированные линии

В качестве примера рассмотрим несколько автоматизированных линий заготовительного производства, по своим характеристикам приближающихся к ГПС кузнечно-прессового производства. Автоматизированная линия горячей штамповки показана на рис. 2.3 [4]. Линия предназначена для получения крупных изделий из крупнотоннажных слитков, производство которых в настоящее время хорошо освоено промышленностью. Линия содержит печь *1* для нагрева крупнотоннажных слитков; автоматизированный ковочный комплекс, состоящий из ковочного пресса *3* и двух манипуляторов *2* с интегрированной системой управления; пресс-ножницы *4* с выдвижным столом для

разделения поковок на мерные длины; печь *5* для нагрева поковок мерной длины для ковки на радиально-ковочной машине *6* с манипуляторами *2*; печь *7* для подогрева длинномерных поковок перед разделением их на заготовки мерной длины на пресс-ножницах *8*; весы *9* для взвешивания заготовок; кольцевую печь *10* для нагрева заготовок перед предварительной штамповкой на заготовительном прессе *11*; печь *12* для нагрева заготовок перед штамповкой на прессе *13* для изотермической штамповки. Линия работает под управлением автоматизированной системы управления *15* и содержит два накопителя *14*, которые выполняют роль буферного устройства.

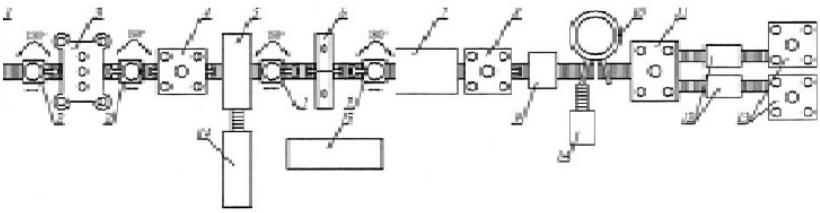


Рис. 2.3. Линия горячей штамповки:
1 – печь для нагрева крупных слитков; *2* – манипуляторы;
3 – ковочный пресс; *4* – пресс-ножницы для разделения поковок;
5 – печь для нагрева поковок; *6* – радиально-ковочная машина;
7 – печь для нагрева поковок перед резкой; *8* – пресс-ножницы; *9* – весы;
10 – кольцевая печь для нагрева заготовок; *11* – заготовительный пресс для штамповки; *12* – проходная печь; *13* – пресс для изотермической штамповки; *14* – накопитель; *15* – пульт управления

Автоматизированный ковочный комплекс (АКК), входящий в линию, предназначен для ковки крупных слитков на заданный размер. Режимы ковки обеспечивают равномерную «проработку» металла по объему поковки. В соответствии с заказом на пресс-ножницах осуществляют разделение поковки на мерные длины для последующей их ковки на радиально-ковочной машине (РКМ). Режим обжатий на РКМ выбирается из условия получения заданной длины поковки, которая в дальнейшем разделяется на пресс-ножницах на конечное число мерных заготовок

(с учетом удаления концевых остатков). Масса мерных заготовок контролируется на весах, установленных в линии. На заготовительном прессе используется фасонный инструмент для «проработки» центральной части заготовок, которая может быть недостаточно хорошо «проработана» на АКК и РКМ. Далее фасонные заготовки поступают на пресс для изотермической штамповки.

АКК и РКМ оборудованы поворотными манипуляторами, которые могут перемещаться вдоль оси линии. Два накопителя, оборудованные около пресс-ножниц, позволяют в случае необходимости разрывать непрерывный технологический поток и использовать только отдельные участки линии. Пресс-ножницы оборудованы датчиками для измерения размеров поковок, позволяющими получать мерные заготовки одинаковой массы (в случае колебания размеров поковок). Линия сконструирована на базе достаточно хорошо отработанного оборудования для отдельных технологических переделов, прошедшего апробацию в промышленности.

Автоматизированная линия изотермического прессования представлена на рис. 2.4 [4]. Линия содержит печь *I* для нагрева заготовок, на выходе которой установлены датчики *1* температуры; многопозиционное скальпирующее устройство *II* для зачистки поверхности заготовки перед прессованием, снабженное датчиками *2* размеров заготовки и датчиками *3* и *4*, определяющими состояние поверхности заготовки на входе и выходе; универсальный гидравлический пресс *III* для прямого и обратного методов прессования, оборудованный датчиками температуры *5* и *7*, контролирующими температуру прессуемого изделия на выходе из очка матрицы, датчиками *6* скорости движения и положения пресс-штемпеля; электроподогревающее устройство *IV* для дополнительного подогрева прессуемого изделия до температуры закалки, снабженное датчиками *7* и *9* температуры на его входе и выходе; закалочное устройство *V*, обеспечивающее скорость охлаждения, необходимую для закалки изделий из высокопрочных алюминиевых сплавов, снабженное на входе датчиками *8* для определения габаритных размеров прессуемых изделий; правильное устройство *VI* со сканирующим датчиком *10* качества

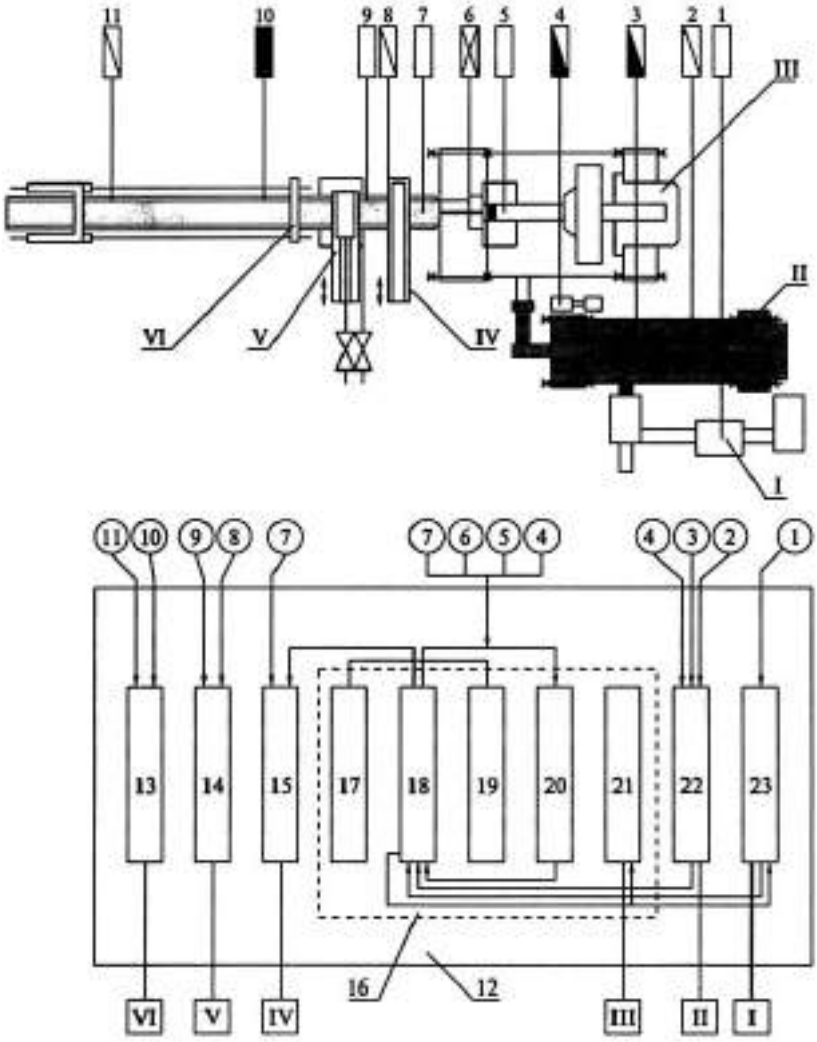


Рис. 2.4. Схема автоматизированной линии изотермического прессования

изделий и датчиками *II*, определяющими размеры элементов прессуемых изделий сложной конфигурации.

Техническая характеристика механического оборудования линии приведена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Техническая характеристика механического оборудования линии

Характеристика	Единица измерения	Величина
Печь для нагрева заготовки		
– температура нагрева	°С	До 500
– время нагрева	с	120
Многопозиционное скальпирующее устройство		
– номинальное усилие	МН	8
– диаметр заготовок	м	0,2…0,5
– длина заготовок	м	0,4…1,0
– скорость рабочего хода главного плунжера	мм/с	до 50
– привод скальпирующего устройства		НАС
– рабочее давление жидкости	МПа	32
– допустимая несоосность заготовок на матрицы при скальпировании	мм	1,0
Универсальный горизонтальный гидравлический пресс для прямого и обратного прессования		
– номинальное усилие	МН	50
– количество ступеней усилия		3
– I ступень	МН	18
– II ступень	МН	32
– III ступень	МН	50
– скорость рабочего хода:		
с плавным регулированием скорости	мм/с	0,1…10,0
со стабилизацией	мм/с	0,1…20,0
– длина контейнера	м	1,2
– внутренний диаметр втулок контейнера	м	0,42 0,36 0,31 0,27 0,225
высота пресс-остатка:		
– минимальная	м	0,04
– максимальная	м	0,2
давление рабочей жидкости	МПа	32
привод		НАС
Правильно-растяжное устройство		
– номинальное усилие	МН	7
– длина профилей	м	3,0…28,0

Стол пресса оборудован нагревательным и закалочным устройствами, а также устройством для резки изделий (на рис. 2.4 устройство не показано).

Технические показатели линии могут быть изменены в зависимости от применяемого оборудования. Управление технологической линией осуществляется системой управления *12*, которая состоит из блока *13* управления правильно-растяжным устройством, блока *14* управления закалочным устройством, блока *15* управления электроподогревательным устройством. Кроме того, система управления содержит блок *16* управления прессом, который, в свою очередь, состоит из блока *17* адаптации, блока *18* моделирования, блока *19* анализатора текущей ситуации, блока *20* управления градиентным нагревом заготовки в контейнере пресса и блока *21* управления исполнительными органами пресса. Управление скальпирующим устройством и температурой нагрева заготовки перед прессованием осуществляется соответственно блоками *22* и *23*.

Отличительная особенность системы управления – согласованное двухступенчатое регулирование температуры прессуемого изделия путем управления как скоростью движения пресс-штемпеля, так и дополнительным подогревом прессуемого изделия в электроподогревающем устройстве (перед закалкой), установленном на выходе пресса.

Линия работает следующим образом. Перед началом прессования в автоматизированную систему управления линией вводят основные технологические параметры для прессования конкретного изделия. Затем нагретая в печи *I* до определенной температуры заготовка поступает на многопозиционное скальпирующее устройство *II*, где осуществляют зачистку поверхности заготовки (при этом толщина снимаемого слоя металла зависит от размеров и состояния поверхности заготовки). Качество зачищенной поверхности контролирует датчик *4*. Далее зачищенная заготовка поступает на пресс *III*. В процессе прессования результаты измерения температуры поверхности изделия датчиком *7* начинают поступать в блок *19* анализатора текущей ситуации. Исходя из результатов измерений (после их фильтрации и прогнозирования

величины температуры на последующие моменты времени) анализатор текущей ситуации определяет момент, когда продолжение прессования с прежней скоростью может привести к нарушению одной из границ изотермического интервала. В этом случае анализатор устанавливает признак изменения скорости. По этому признаку блок *18* моделирования определяет требуемую скорость прессования на основании текущей оценки параметра, связывающего изменение скорости прессования с изменением температуры выходящего изделия. Вычисленную скорость подают на вход регулятора, поддерживающего заданную величину скорости, воздействуя на исполнительные органы пресса. По окончании теплового переходного процесса, вызванного изменением скорости, блок *17* адаптации корректирует параметр температурно-скоростной зависимости процесса в соответствии с рассогласованием между измеренным и предсказанным значениями температуры. При расчете скорости прессования могут использоваться результаты измерения положения и скорости пресс-штемпеля, что позволяет сделать более гибким алгоритм адаптивного управления. Изделие, выходящее из пресса, поступает в электроподогревающее устройство *IV*, в котором осуществляют (в случае необходимости) дополнительный подогрев прессуемого изделия до температуры закалки, кроме того, благодаря этому устройству продляется зона высокой температуры металла изделия.

Далее прессуемое изделие поступает в закалочное устройство *V*. Для предотвращения деформации закалку изделия осуществляют в процессе прессования под нагрузкой.

По окончании прессования и закалки задний конец прессуемого изделия закрепляют в неподвижной траверсе правильно-растяжного устройства *VI* и осуществляют правку изделия растяжением. Процесс правки (величина растяжения, скоростной, режим правки) контролирует блок *13* управления правильным устройством.

Таким образом, в непрерывном потоке на одном автоматизированном технологическом комплексе осуществляют все основные технологические операции по производству изделий

сложной конфигурации из высокопрочных алюминиевых сплавов, а после небольших изменений и для производства изделий из малолегированных алюминиевых сплавов и тяжелых цветных металлов.

На базе линии изотермического прессования ОАО «Уралмаш» разработан автоматизированный технологический комплекс на базе универсального пресса усилием 50 МН, предназначенный для производства сплошных профилей периодического и постоянного по длине сечений с диаметром описанной окружности до 350 мм.

В состав комплекса входят устройство для зачистки поверхности литых заготовок (скальпирующее устройство) с комплексом автоматики и механизации, горизонтальный гидравлический пресс усилием 50 МН, приемный стол пресса с приводом и устройством для вытягивания отпрессованного изделия из мундштука пресса, устройство для резки изделий на столе пресса, перекладчик отпрессованной продукции с приемного стола пресса на транспортер-холодильник, устройство съема и накопления изделий, автоматизированная система управления температурно-скоростными режимами прессования.

Система управления обеспечивает следующие режимы прессования: изотермическое прессование профилей постоянного сечения; программное изменение скорости прессования для профилей периодического сечения; прессование профилей периодического сечения с постоянной скоростью; программное изменение скорости прессования профилей постоянного сечения. Диапазон изменения и регулирования скорости движения пресс-штемпеля от 0,1 до 10 мм/с, погрешность – 5 %.

Приемный стол пресса – роликовый с приводными роликами. Длина прессуемых профилей: максимальная – 16 м, минимальная – 4,5 м. Устройство для резки изделий на приемном столе пресса обеспечивает резку изделий и пучка изделий. Резке подвергается профиль с диаметром описанной окружности до 350 мм и максимальной толщиной 60 мм. Допустимый диаметр описанной окружности пучка профилей – 250 мм, количество профилей в пучке 1…4 шт.

Комплекс обслуживают три человека: один – на пульте управления, один – на входной стороне комплекса (обслуживает работу индукционной печи и скальпирующего устройства, обеспечивает подачу заготовок и уборку отходов скальпирования), один – осуществляет смену инструмента, уборку партий профилей из накопителя.

Автоматизированные комплексы и линии изотермического прессования позволяют ликвидировать ряд трудоемких технологических операций (повторный нагрев изделий под закалку, закалку изделий, ряд транспортных и подготовительных операций), осуществлять закалку длинномерных изделий определенного сортамента без создания дорогостоящих крупногабаритных закалочных устройств, снизить трудоемкость процесса на 9…10 чел·ч на одну тонну годной продукции; сократить на 350…500 кВт·ч расход электроэнергии на одну тонну изделий; повысить выход годной продукции (за счет снижения отходов) на 2…4 %, что, например, для прутково-профильного пресса усилием 50 МН (при производительности 9000 тонн в год) составит около 300 тонн в год; повысить производительность процесса на 50…60 кг годных изделий в час (за счет повышения скорости прессования); сократить производственные площади; сократить на 2…3 человека обслуживающий персонал; повысить равномерность механических свойств и качество поверхности по всей длине прессуемого изделия за счет изотермического режима прессования и предварительной зачистки поверхности заготовок в многопозиционном скальпирующем устройстве; решить проблему адаптации системы управления скоростью прессования к изменяющимся условиям прессования длинномерных изделий сложной конфигурации.

Описанные выше автоматизированная линия и комплекс изотермического прессования защищены пятью авторскими свидетельствами и патентами ФРГ, Японии, Италии, Турции и Индии.

Схема линии по производству крупногабаритных изделий из высокопрочных алюминиевых сплавов, разработанная ОАО «Уралмаш», показана на рис. 2.5. В состав линии входит следующее уникальное оборудование. Мощный горизонтальный

гидравлический многоцилиндровый пресс, предназначенный для прессования прямым и обратным способами крупногабаритных изделий из алюминиевых сплавов.

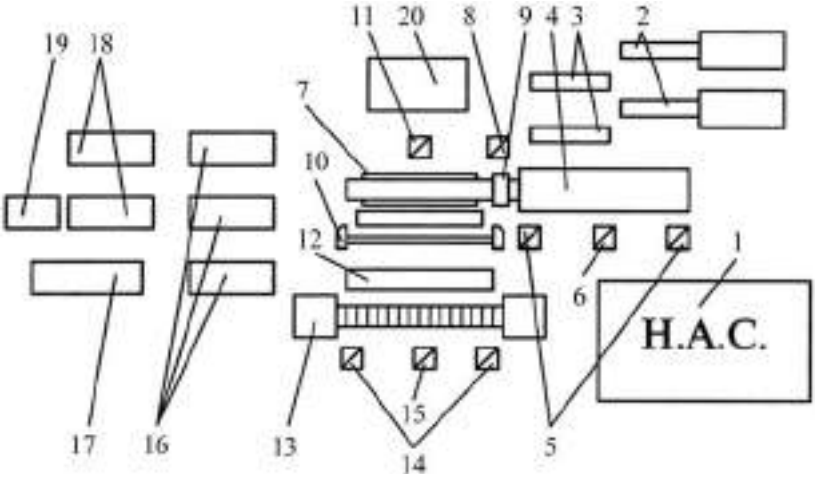


Рис. 2.5. Линия по производству длинномерных крупногабаритных изделий из высокопрочных алюминиевых сплавов:
1 – насосно-аккумуляторная станция; *2* – печи для нагрева слитков; *3* – устройство для зачистки слитков; *4* – горизонтальный гидравлический пресс; *5* – датчики температуры на входе и выходе пресса; *6* – датчик скорости движения пресс-штемпеля; *7* – закалочное устройство на столе пресса; *8* – датчик температуры на входе в закалочное устройство; *9* – подогревающее устройство на столе пресса; *10* – машина для обрезки концов; *11* – датчик качества прессуемых изделий; *12* – стеллаж; *13* – правильно-растяжная машина; *14* – датчик перемещения захватов машины; *15* – датчик для определения деформаций; *16* – горизонтальные агрегаты для закалки крупногабаритных изделий; *17* – ролико-правильная машина; *18* – печи для отжига и старения крупногабаритных изделий; *19* – установки ультразвукового контроля; *20* – центральный пульт автоматизированной системы управления линией прессования

Технические возможности пресса позволяют прессовать изделия с законцовками. Контейнер выполнен удлиненным с повышенным отношением длины контейнера к диаметру рабочей

втулки. Пресс оборудован устройствами для зачистки слитков перед прессованием, стоящими в линии подачи слитков от печи к прессу. Привод пресса, помимо насосно-аккумуляторной станции, оснащен также и индивидуальной насосной установкой с насосами переменной производительности. Схемой предусмотрено подключение любой группы рабочих цилиндров как к насосам, так и к насосно-аккумуляторной станции. На входе и выходе пресса установлены пирометрические бесконтактные датчики температуры для регистрации температуры слитков и прессуемого изделия на выходе из очка матрицы. Скорость движения и положение пресс-штемпеля замеряются с помощью дифференциально-индуктивных датчиков. По своим эксплуатационным характеристикам эти датчики превосходят известные фотоэлектрические датчики, применяемые в локальных регуляторах скорости движения пресс-штемпеля.

Предусмотрена возможность регулировки скорости рабочего хода пресс-штемпеля управляемыми дросселями или насосами переменной производительности. В выходной части пресса имеются приемный стол специальной конструкции, холодильник и пилы для обрезки концов отпрессованных изделий. Все операции от выдачи слитка из печи до получения изделия механизированы.

Правильно-растяжная машина (ПРМ) для правки и упрочнения длинномерных изделий из алюминиевых сплавов состоит из двух тянущих выкрутных головок одинакового исполнения, каждая из которых снабжена индивидуальным масляным приводом. Основанием машины служат станина и опорные балки, установленные и закрепленные на фундаменте. Боковые балки служат опорой и направляющими для проставок. Машина снабжена датчиками скорости и положения тянущих головок, а также сканирующим датчиком деформации отдельных частей пресс-изделия.

Далее в линии установлены горизонтальные агрегаты для закалки крупногабаритных изделий, печи для отжига и старения крупногабаритных изделий, участок ультразвукового контроля и роликоправильная машина.

Технологический процесс производства длинномерных изделий выглядит следующим образом. Слиток, нагретый в печи *2* до температуры, превышающей на 10…15 °С температуру прессования, после зачистки поверхности на устройстве *3* поступает на пресс *4*. На прессе обеспечиваются изотермические условия прессования, после чего часть изделий закаляется непосредственно на столе пресса в закалочном устройстве *7*. После закалки эта часть изделий, после обрези концов на машине *10*, поступает на ПРМ *13*. Контроль данной части изделий производится в потоке. Основная же часть изделий после прессования и обрези концов поступает на термообработку в агрегатах *16* и *18*, а затем на правку на роликовой *17* и протяжной *13* машинах. После этого изделия проходят ультразвуковой контроль на установках *19*.

Работа линии координируется автоматизированной системой управления, охватывающей основные технологические операции, такие как нагрев слитков перед прессованием, процесс прессования на гидравлическом прессе, термообработку и правку изделий на растяжной правильной машине. Для части изделий предусмотрен контроль их качества (точность размеров, сплошность, механические свойства) после каждой технологической операции.

Температурный режим нагрева слитков перед прессованием назначается в зависимости от размеров слитков, их химического состава и фактических механических свойств, определяемых в процессе прессования первого слитка. Система управления осуществляет контроль над режимом нагрева.

Известно, что однородность механических свойств по всей длине длинномерных прессуемых изделий имеет место в условиях изотермического прессования, когда обеспечивается постоянство температуры металла на выходе из очка матрицы по всей длине прессуемого изделия. Одновременно достигается и максимальная производительность процесса, что весьма важно при производстве длинномерных изделий.

Система управления процессом прессования призвана обеспечить изотермические условия прессования за счет регулирования скорости движения пресс-штемпеля в процессе прессования.

2.3. Гибкие производственные системы механообрабатывающего производства

Анализ производства большинства промышленно развитых стран показал, что 80…90 % всех деталей, изготавливаемых в настоящее время на станках, целесообразнее получать используя гибкие производственные системы (ГПС или входящие в состав ГПС гибкие производственные модули). Следует иметь в виду, что стоимость программного и аппаратного обеспечения производственного оборудования всей ГПС составляет около 75 % ее стоимости, остальные 25 % стоимости ГПС приходятся на транспортное и другое вспомогательное оборудование. В качестве примера рассмотрим ГПС фирмы Vought (США), предназначенную для механической обработки деталей фюзеляжа американского бомбардировщика B1B. ГПС, поставленная фирмой Cincinnati Milacron (США), включает в себя восемь идентичных горизонтальных обрабатывающих центров с ЧПУ, связанных при помощи транспортной сети из четырех автоматических транспортных тележек с двумя управляемыми от ЭВМ координатно-измерительными машинами; автоматическую станцию мойки и сушки; два карусельных накопителя плит-спутников и автоматическую систему сбора стружки (рис. 2.6).

Станочное оборудование ГПС состоит из восьми горизонтальных обрабатывающих центров HC-20 фирмы Cincinnati Milacron (США), предназначенных для контурного фрезерования, сверления, растачивания, развертывания и нарезания резьбы. Они имеют магазин емкостью 30 инструментов, в котором хранится набор инструментов для обработки на любом из восьми станков. Каждый станок имеет устройство автоматической смены плит-спутников челночного типа с позицией промежуточного хранения. На плитах-спутниках имеются многоместные приспособления для установки различных деталей на одну плиту.

Четырехкоординатные станки могут обрабатывать заготовки размерами 800 × 800 × 900 мм и массой до 2270 кг из черных и цветных металлов. Имеется автоматический конвейер для

отвода стружки, измерительное устройство для установки нулей отсчета, устройство обнаружения поломки инструмента и система адаптивного управления крутящим моментом на шпинделе. Обрабатывающие центры оснащены системами ЧПУ типа CNC Acramatic 900, каждая из которых связана с центральной ЭВМ (DNC).

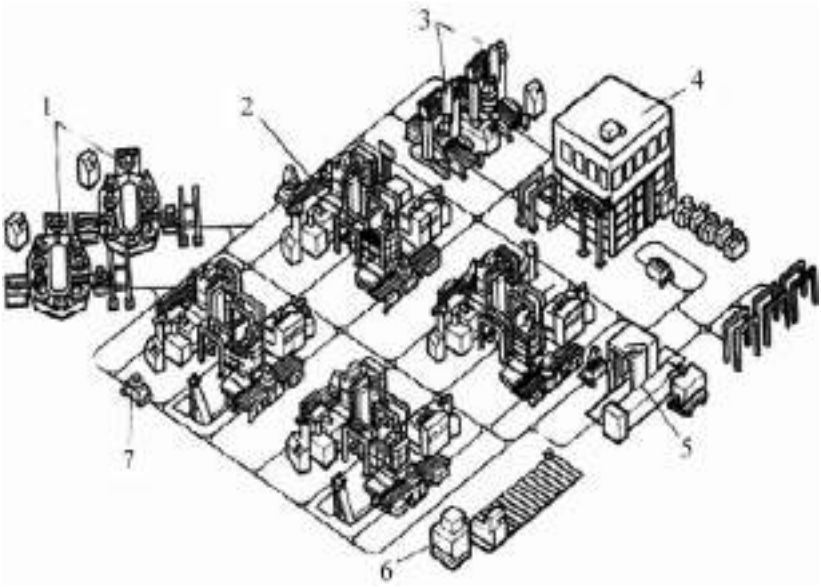


Рис. 2.6. Планировка гибкой производственной системы фирмы Vought: *1* – позиция загрузки-выгрузки; *2* – обрабатывающие центры; *3* – координационно-измерительные машины; *4* – комната с управляющей ЭВМ; *5* – автоматическая моечная станция; *6* – автоматическая система сбора стружки; *7* – направляемые по проводам тележки

Две координатно-измерительные машины производят автоматический контроль обработанных деталей. Данные цикла измерений детали передаются по системе обратной связи на соответствующий станок для автоматической регулировки смещения инструментов. Измерительные машины связаны с системой DNC, циклом измерения управляет центральная ЭВМ. Работу ГПС и других безлюдных систем затрудняет удаление стружки.

Фирма Vought (США) пытается решить эту проблему с помощью автоматической системы сбора стружки и СОЖ, расположенной под полом. Двухпоточная система связана со всеми станками, разделяет стружку черных и цветных металлов, удаляет сгустки масла из СОЖ. Система имеет автоматический самоочищающийся всасывающий фильтр (т. е. в нем не используется сменная фильтровальная бумага), оборудована воздушной системой сушки с электрическим подогревом и конвейером для доставки стружки черных и цветных металлов в различные контейнеры, которые затем транспортируются на автоматических транспортных тележках. Химический состав СОЖ контролируется. Детали и заготовки загружаются и снимаются вручную с двух десятиместных карусельных накопителей, которые в пределах ГПС обслуживаются четырьмя направляемыми по проводам транспортными тележками.

Всей ГПС управляет система DNC с помощью ЭВМ. Последовательность обработки деталей в ГПС задается оператором в соответствии с ежедневным производственным заданием. Его решения учитываются в производственном плане предприятия с помощью системы обратной связи.

Фирма Grumman (США) использует интегрированную ячейку для фрезерования и сверления отверстий в деталях сложного профиля и листовом алюминии, которые применяются в конструкции обшивок, панелей, обтекателей и дверей. До внедрения ячейки эти детали обрабатывались вручную с использованием зажимных приспособлений. Центральный элемент ячейки – робот IRE-60 фирмы ASEA. Ячейка включает в себя также пять основных элементов с программным управлением: контейнер, рабочий стапель для установки и закрепления детали, систему автоматической смены инструмента и контроля (рис. 2.7).

В заключение отметим, что в механообработке металлов достигнуты значительные успехи в разработке новых режущих материалов и приводов для металлорежущих станков, в результате чего значительно сократилось основное машинное время на обработку каждой заготовки.

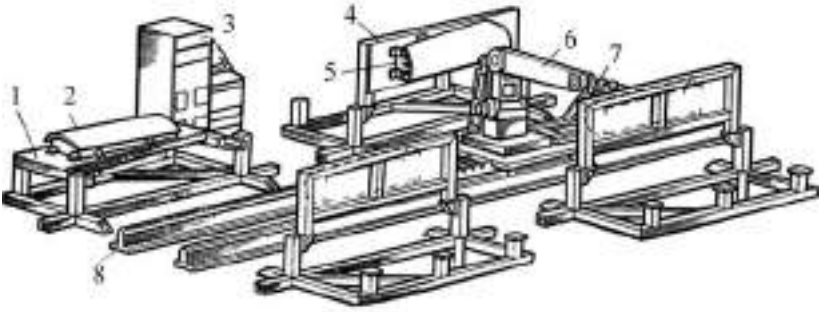


Рис. 2.7. Схема интегральной роботизированной ячейки:
1 – позиция загрузки; *2* – обрабатываемая деталь; *3* – блок управления; *4* – позиция обработки; *5* – оснастка; *6* – робот; *7* – робот для смены инструмента; 8 – рельсы для перемещения робота

Много нерешенных проблем существует в области разработки систем крепления, включая системы переналадки приспособлений для крепления инструментов и др. Ведутся дальнейшие работы в области сенсорной техники, систем автоматической регулировки и управления процессами производства. Особое внимание уделяется созданию универсальных и надежных систем распознавания дефектов износа и поломки инструментов. Для большинства металлообрабатывающих предприятий основой развития гибкого производства и снижения затрат на обработку является модульная технология.

Контрольные вопросы

1. Укажите основные виды промышленного производства.
2. Дайте определение и описание ГПС.
3. Дайте определение и описание ГАП.
4. Дайте определение АЛ.
5. Проведите сравнительный анализ ГПС, ГАП и АЛ для различных видов производств.
6. Опишите назначение и структуру автоматизированной линии горячей штамповки.

7. Опишите назначение и структуру автоматизированной линии изотермического прессования.

8. Сформулируйте назначение пресса изотермической штамповки в составе автоматизированной линии горячей штамповки.

9. Сформулируйте принципы изотермического прессования.

10. Сформулируйте принципы системы управления изотермическим прессованием.

11. Опишите функциональное назначение устройств управления линии изотермического прессования.

12. Опишите работу линии изотермического прессования.

13. Укажите технико-экономические характеристики изотермического прессования.

14. Опишите работу линии по производству длинномерных крупногабаритных изделий из высокопрочных алюминиевых сплавов.

15. Опишите планировку гибкой производственной системы Vought.

16. Дайте технико-экономическую характеристику гибкой производственной системы Vought.

Лекция 3
ВВЕДЕНИЕ В ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Проектирование технического объекта – создание, преобразование и представление в принятой форме образца этого, еще не существующего, объекта. Образ объекта может создаваться в воображении человека в результате творческого процесса или генерироваться с помощью некоторых алгоритмов в процессе взаимодействия с ЭВМ.

Инженерное проектирование начинается при наличии выраженной потребности в некоторых технических объектах. Результатом проектирования, как правило, служит полный комплект документации, содержащий сведения, достаточные для изготовления объекта в заданных условиях. Эта документация и есть проект – окончательное описание объекта.

Проектирование предполагает выполнение комплекса работ исследовательского, расчетного и конструктивного характера.

Проектирование, при котором все проектные решения или их часть получают путем взаимодействия человека с ЭВМ, называется *автоматизированным*. Система, реализующая автоматизированное проектирование, представляет собой *систему автоматизированного проектирования* – CAD (Computer Aided Design в англоязычной терминологии).

Имеется несколько типов проектов: технические, организационные, экономические, социальные и смешанные. Однако процесс проектирования имеет две особенности: во-первых, состав и последовательность его этапов не зависит от целевого назначения проекта, во-вторых, логика процесса проектирования инвариантна к способу проектирования – традиционному или автоматизированному.

Кроме того, для подходов к проектированию сложных мехатронных систем характерны:

– структуризация процесса проектирования (декомпозиция проектных задач и документации);

– итерационный характер проектирования;

– типизация и унификация проектных решений и средств проектирования;

– информационная поддержка (в том или ином виде) на всех этапах процесса проектирования;

– соблюдение основных принципов проектирования.

3.1. Основные принципы проектирования

При решении задач проектирования руководствуются рядом основных принципов.

Последовательность и итерационность. Последовательность заключается в строгой очередности выполнения этапов проектирования механизма или машины, а итерационность – в корректировках проектных решений, полученных на предыдущих этапах проектирования.

Модульный принцип проектирования состоит в максимально возможном использовании однотипных узлов (или элементов узлов) при проектировании семейства машин различного целевого назначения. Сложные системы необходимо проектировать так, чтобы поведение одной части системы оказывало минимальное воздействие на остальную систему. Этот принцип базируется на активном использовании компьютерной техники и применяется тогда, когда уже имеется достаточно четкое представление о семействе проектируемых машин.

Применение модульного принципа при проектировании одного механизма или одной машины бессмысленно и невозможно. Только в случае разработки семейства машин и использовании при этом ограниченного числа готовых узлов последние становятся модулями. Модули являются следствием принятого технического решения, ибо в принципе проектировать можно так, что

узлы одного назначения не будут даже отдаленно похожи друг на друга.

Различают модули *производственные* (применяемые без каких-либо изменений в машинах различного целевого назначения), *технологические* (отличающиеся в основном технологией изготовления и незначительными конструкторскими изменениями, относящимися, как правило, к местам крепления узлов, например: правый-левый, верхний-нижний, передний-задний и т. п.) и *конструкционные* (имеющие конструкционное подобие, но различные размеры).

Современное техническое обеспечение САПР позволяет легко получать зеркальные изображения узлов (технологические модули) с минимальными затратами труда и времени. Несколько сложнее получить конструкционные модули, так как при их проектировании необходимо одновременно выполнять требования соблюдения размерных рядов и максимально возможной унификации.

При использовании модульного принципа проектирования на уровне принятия концепции должен быть решен вопрос о критерии целесообразности его применения для проектируемого семейства машин. Модули, используемые в последующих разработках, переходят в категорию унифицированных узлов.

Принцип унификации связан с применением в семействе проектируемых механизмов или машин унифицированных сборочных единиц (узлов, подузлов, агрегатов), деталей (оригинальных и стандартных), комплектующих. Как показывает опыт автоматизированного проектирования, применение типовых унифицированных деталей нецелесообразно. Значительно выгоднее иметь большое количество макрусов и существенные заделы в банках данных по модификациям и унифицированным узлам, что позволяет избегать излишней детализации конструкторских разработок. Информацию об унифицированных деталях, узлах и системах целесообразно хранить на микрофишах систематизированно по группам.

Принцип соответствия выбора номенклатуры и значений выходных характеристик целевому назначению проектируемой

машины или механизма. Чем ответственнее проектируемый объект, тем большее число выходных характеристик и параметров объекта регламентируется и тем более жесткие требования к ним предъявляются. Например, вероятность безотказной работы станков принимается в пределах 0,95–0,99, а самолетов – 0,999 99.

Другой пример. Число установленных и проверяемых выходных параметров точности станка при высоких требованиях к точности обрабатываемых деталей может достигать 20–30, в то время как для станков нормальной точности достаточно регламентировать 8–10 показателей. Основная цель регламентации выходных параметров станка – обеспечить погрешность обработки, которая находилась бы в установленных пределах в течение всего периода его эксплуатации.

Во всех случаях проектировщику необходимо помнить, что соответствие выходных характеристик механизма или машины их целевому назначению в первую очередь определяет общая компоновка, принимаемая на концептуальном уровне.

Принцип компромиссов. Проектирование – это непрерывная цепь компромиссов, которые приходится принимать на всех стадиях создания механизма или машины. Например, стремление к увеличению частоты вращения шпиндельных узлов всегда приводит к увеличению тепловыделения в опорах, которое не может превышать определенного уровня, и принятие окончательного решения всегда требует компромисса.

Улучшение любой технической характеристики машины (скорости, грузоподъемности, точности, надежности, производительности и др.) неизбежно вызывает увеличение ее стоимости, трудоемкости изготовления, часто требует другого уровня обслуживания и повышения культуры эксплуатации, что всегда приводит к компромиссным решениям.

Тенденция современных машиностроительных производств к концентрации операций постоянно требует от проектировщика решения задачи рационального сочетания технологических возможностей и усложнения конструкций оборудования. Избыточность технологических возможностей может быть не оправдана экономически.

Увеличение надежности машины почти всегда сопровождается ее усложнением и удорожанием. Выбор опор и направляющих, обеспечивающих незначительный износ, применение новых материалов, специальных покрытий, смазок, термообработки повышают трудоемкость изготовления и стоимость машины. Далеко не всегда ясно, *что* экономически целесообразнее – удорожать механизм или машину изначально либо совершенствовать систему обслуживания и ремонта в период эксплуатации. Компромисс заключается в обеспечении в первую очередь надежности наиболее ответственных деталей и узлов машины.

Принцип преемственности. Практически любые механизмы и машины являются продуктом эволюции, и в них всегда имеются элементы, детали и узлы, разработанные ранее. Соблюдение преемственности является одним из эффективных путей снижения затрат и сокращения сроков создания машины.

Хорошо отработанные элементы и узлы нет нужды заменять, и в одной машине прекрасно могут сосуществовать «новое» и «старое». Изыскание новых принципов построения механизмов и машин не является, как правило, задачей конструирования. *Суть проектирования – обеспечение требуемых характеристик машины, а не погоня за оригинальностью*. Преемственность определяется самой логикой последовательного развития машин. Модернизация, систематическое совершенствование позволяют поддерживать показатели выпускаемых машин на уровне постоянно возрастающих требований в течение определенного времени без коренной переработки конструкции. Например, ведущие автомобильные фирмы выпускают принципиально новую модель только раз в 8–10 лет.

Вопрос заключается в том, как *наиболее рационально сочетать новое со старым*. Это зависит как от качества отработки отдельных проектных решений (стоит ли заменить), так и от уровня технологической подготовки производства (можем ли заменить). На этом пути существуют две основные опасности: консерватизм, влекущий за собой добровольный отказ от творческого поиска и приводящий к необъективной критике новых решений и отказу от них, и психологическая инерция, ослабляющая

самоконтроль, в результате чего конструктору очень трудно отрешиться от своего решения, так как он находится в плену идеи.

Преемственность при проектировании имеет несколько аспектов:

– приверженность фирм к определенным, отработанным годами решениям (в области компоновки, конструкции узлов, дизайна и т. п.). Это то, что определяет «почерк» фирм, и они весьма неохотно расстаются со своими традиционными решениями, часто связанными с «ноу-хау» и даже иногда носящими названия фирм;

– индивидуализация конструкций механизмов и машин не должна распространяться на все элементы и узлы. Модули могут и должны использоваться для различных моделей;

– конструктивная преемственность дает возможность увеличить эффективность разработки за счет использования модулей и унифицированных элементов и узлов;

– степень заимствования определяется на концептуальном уровне и зависит от возможности принятия своих и чужих технических решений в неизменном или модифицированном виде, реальных возможностей проектировщика, определяемых квалификацией, сроками и другими обстоятельствами.

Работающая сложная система неизбежно оказывается результатом работающей простой системы. Сложная система, разработанная на бумаге от начала и до конца, как правило, никогда не работает, и ее невозможно заставить работать. Всегда надо начинать с работающей простой системы.

3.2. Схема процесса проектирования

Стадии проектирования – наиболее крупные части проектирования процесса, развивающегося во времени. В общем случае выделяются стадии научно-исследовательских работ (НИР), эскизного проекта или опытно-конструкторских работ, технического, рабочего проектов, испытаний опытных образцов или опытных партий. Стадию НИР иногда называют предпроектными

исследованиями, или стадией технического предложения. Очевидно, что по мере перехода от стадии к стадии степень подробности и тщательность проработки проекта возрастают. Рабочий проект должен быть вполне достаточным для изготовления опытных или серийных образцов. Близким к определению стадии, но менее четко оговоренным понятием является понятие этапа проектирования.

Стадии (этапы) проектирования подразделяют на составные части, называемые ***проектными процедурами***. Примерами проектных процедур могут служить подготовка деталировочных чертежей, анализ кинематики, моделирование переходного процесса, оптимизация параметров и другие проектные задачи.

В свою очередь, проектные процедуры можно расчленить на более мелкие компоненты, называемые ***проектными операциями***. Например, при анализе прочности детали сеточными методами могут быть построены сетки, произведены выбор или расчет внешних воздействий, собственно моделирование полей напряжений и деформаций, представление результатов моделирования в графической и текстовой формах. Проектирование сводится к выполнению некоторых последовательностей проектных процедур – ***маршрутов проектирования***.

На рис. 3.1 показана укрупненная схема процесса проектирования.

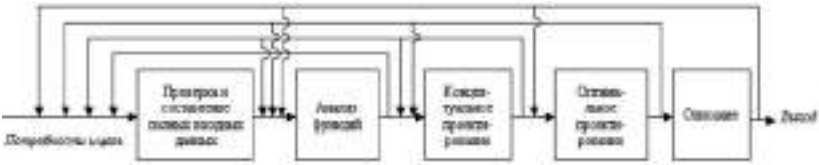


Рис. 3.1. Укрупненная схема процесса проектирования

Техническая разработка системы начинается с определения нужд потенциального пользователя разрабатываемой системы. Часто оказывается, что пользователь желает иметь систему, выполняющую данную работу, однако испытывает трудности при количественной формулировке своих потребностей и целей.

Поэтому у инженера и пользователя возникает дополнительная задача количественного воплощения целей системы так, чтобы была определена содержательная совокупность целевых функционалов для последующей разработки (проверка и составление полных входных данных).

Коль скоро потребности и цели системы определены, необходимо дать количественное описание функций, которые должны выполнять система и любая требуемая подсистема. Эта процедура называется анализом функций. Его цель состоит в выборе функций, или операций, которые должны быть проведены для выполнения задачи, требуемой от разрабатываемой системы. Эти функции становятся затем целями низшего уровня для разработки подсистем. Определение функций по своей природе носит качественный характер. Однако коль скоро функция или операция определена, она должна быть описана в количественных терминах. Например, если операцию нужно провести быстро, необходимо оговорить допустимое время.

Следующий шаг, показанный на рис. 3.1, является одним из наиболее трудных этапов в технической разработке системы и, конечно, самым трудным шагом для аналитического описания. Концептуальное проектирование, как видно из названия, состоит в определении концепций, или основных конфигураций системы, которые могут удовлетворить целям системы. На этом шаге желательно оставить концепции по возможности в общем виде, с тем чтобы не исключить кандидатуры систем, которые могут оказаться эффективными. Например, если операция, подлежащая выполнению, есть продвижение летательного аппарата над поверхностью Земли, то концептуальные проекты могут включать в себя проектирование колес, направляющих, стоек и воздушной подушки. На этом этапе процесса проектирования важно определить границы приемлемых значений параметров, описывающих систему. Для параметров проектирования в пределах этих значений система должна уметь выполнять функции, определенные на предыдущем шаге.

Пусть мы имеем дело с оптимальным проектом, для которого целью является выбор неопределенных параметров, введенных

на предыдущем шаге (оптимальное проектирование). Эти параметры должны быть в пределах, определяемых технологическими ограничениями и назначением системы. Критерием выбора параметров системы является максимизация стоимости системы или минимизация меры затрат. Следует особо отметить, что математически точный оптимум может оказаться недостижимым и, следовательно, служить лишь ориентиром. Однако методы выбора параметров системы должны обладать таким свойством, что если оптимум существует, то при достаточном терпении и заданном машинном времени он должен быть в пределе достижим.

То что является последним шагом в модели технической разработки системы на рис. 3.1 (описание оптимальной системы), в действительности оказывается промежуточным шагом. До тех пор пока процедура проектирования системы не станет исключительно эффективной, система, предложенная группой разработчиков, не будет удовлетворять заказчика. Получив результаты одного прохождения через процедуру проектирования системы, заказчик, вероятно, вспомнит некоторые ограничения, которые он забыл описать и которые оптимальная система нарушает. Проектировщик также может найти привлекательные решения, которых он ранее не видел. Он опять-таки в большей мере, чем заказчик, вспомнит технологические ограничения, которые он забыл описать и которые оптимальная система нарушает. Наконец, заказчик, несомненно, решит, что неплохо бы уменьшить на малую величину уровни качества системы, если это приведет к экономии денег.

На следующем шаге процедуры каждый участник группы должен сделать глубокий вдох и вернуться к работе, вооруженный добытыми с трудом новыми знаниями. Именно с этой целью указаны все каналы обратной связи в модели на рис. 3.1. Эта итеративная процедура продолжается до тех пор, пока заказчик не решит, что предлагаемая система является той, в которой он действительно нуждается. Это будет еще одно решение, принимаемое человеком, но математически не запрограммированное.

Основные стадии и процедуры процесса проектирования показаны на рис. 3.2. Разделение процесса проектирования на последовательные стадии (этапы) является в известной степени

условным, поскольку в процессе проектирования пересматриваются и уточняются ранее принятые решения.

Прокомментируем основные стадии проектирования. ***Техническое задание*** (ТЗ) обосновывает те новые качества, которыми должен обладать проектируемый объект, и является наряду с техническим предложением итогом предпроектной подготовки. ТЗ устанавливает основное назначение объекта, обосновывает целесообразность его создания и регламентирует все основные технические характеристики (требования).

В процессе подготовки ТЗ разрабатывается основная концепция проектирования. Разработкой концепции занимается небольшая по численности группа проектантов высшей квалификации.

Техническое предложение формулирует принятую концепцию, уточняя и развивая техническое задание. Оно состоит из совокупности конструкторских документов, необходимых для дальнейшего проектирования. Техническое предложение обеспечивает и уточняет технические характеристики проектируемой машины и диапазоны эксплуатационных нагрузок и скоростей. На этом этапе выбирают окончательный вариант компоновки машины, ее узлов и агрегатов, пользуясь результатами анализа, синтеза и оптимизации вариантов компоновок, и разрабатывают принципиальные схемы машины: кинематическую, гидравлическую, пневматическую, электрическую и др., а также принимают тип и характеристики системы управления, определяют общие габаритные размеры.

Техническое предложение дает полное представление о компоновке и возможностях проектируемых механизмов или машин.

Эскизный проект содержит предварительную конструкторскую проработку всех основных узлов и является развитием технического предложения. Он базируется на анализе различных конструкторских решений, результатах расчетов, оптимизации важнейших параметров и характеристик машины.

При конструировании машины, ее узлов и систем следует максимально использовать стандартные и унифицированные детали, механизмы и элементы, что удешевляет проектируемую машину.

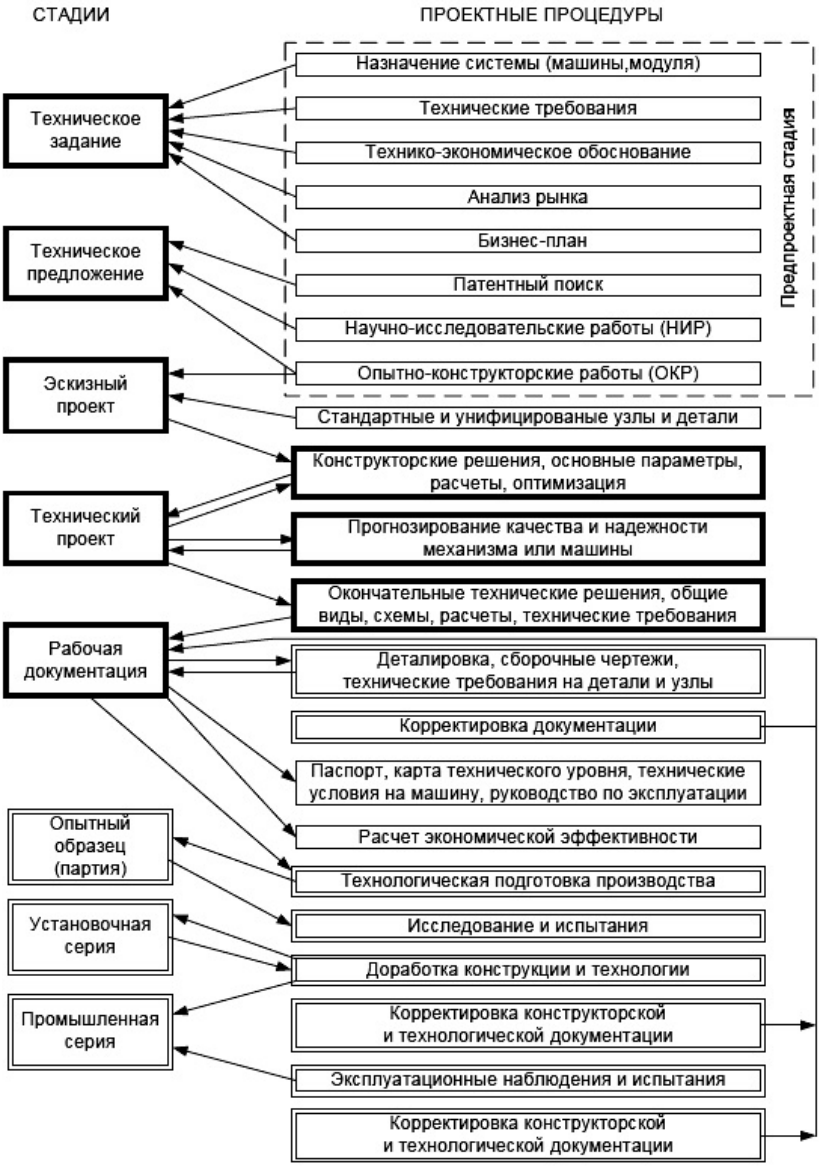


Рис. 3.2. Стадии и процедуры процесса проектирования

Каждое конструкторское решение должно быть обосновано результатами расчетов, рассмотрено с точки зрения обеспечения качества и надежности функционирования проектируемой машины, технологичности изготовления и сборки, удобства эксплуатации, ремонтопригодности и т. д.

Технический проект включает в себя окончательную конструкторскую проработку всех узлов, чертежей, схем машины и ее общих видов. На этом этапе производят все виды уточненных и поверочных расчетов, оптимизируют необходимые параметры узлов и систем машины, окончательно определяют ее эффективность; прогнозируют выходные характеристики и оценивают надежность машины с учетом вероятностной природы режимов ее эксплуатации. Проект должен содержать все исходные данные, необходимые для разработки комплекта технической документации на проектируемый механизм или машину, его согласовывают и утверждают в установленном порядке.

Рабочая документация – завершающий этап проектирования. Он включает в себя разработку рабочих чертежей всех оригинальных деталей и простановку технических требований на их изготовление, составление технологической документации, корректировки (в случае необходимости) технического проекта, составление спецификаций оригинальных и покупных комплектующих деталей, формирование паспорта машины, карты технического уровня, инструкции по эксплуатации и ряда других документов. Рабочая документация должна содержать все данные, необходимые для изготовления проектируемого механизма или машины. Выпуск рабочей документации существенно упрощается при применении САПР.

После завершения разработки комплекта рабочей документации осуществляются ***технологическая подготовка производства*** и последующие этапы изготовления и отладки спроектированной машины. В ряде случаев для сокращения сроков выпуска новой техники технологическую подготовку производства начинают заранее до завершения выпуска комплекта рабочей документации. Применение техники CAD/CAM значительно сокращает сроки подготовки производства.

3.3. Системный подход к проектированию

В лекции 1 было отмечено, что наиболее общим подходом к проектированию мехатронных систем является системный подход. В системотехнике можно выделить три подхода к процессу проектирования: структурный, блочно-иерархический и объектно-ориентированный.

Блочно-иерархический подход к проектированию использует идеи декомпозиции описания сложных систем на иерархические уровни, вводит понятие стиля проектирования, устанавливает связь между параметрами соседних иерархических уровней.

В лекции 1 отмечено, что для большинства приложений характерны три иерархических уровня: *системный*, *макроуровень* и *микроуровень*. В каждом – приложение наименований уровней и их число может быть различным (в радиотехнике, вычислительной технике, машиностроении и т. д.). Например, в машиностроении имеются уровни: деталей, узлов, машин и комплексов машин.

В зависимости от последовательности решения задач иерархических уровней различают ***нисходящее***, ***восходящее*** и ***смешанное*** проектирование (стили проектирования).

Восходящее проектирование предполагает решение задач от нижних уровней к верхним. ***Нисходящее*** проектирование – от верхних к нижним. ***Смешанный стиль*** имеет элементы как восходящего, так и нисходящего проектирования. В большинстве случаев для сложных систем предпочтение отдают нисходящему проектированию, но часто используют и смешанное.

Неопределенность и нечеткость исходных данных при нисходящем проектировании (так как еще не спроектированы компоненты) или исходных требований при восходящем проектировании (поскольку техническое задание имеется на всю систему, а не на ее части) обусловливают необходимость прогнозирования недостающих данных с последующим их уточнением, т. е. последовательного приближения к окончательному решению (итерационность проектирования).

Наряду с декомпозицией описаний на иерархические уровни применяют разделение представлений о проектируемых объектах на аспекты.

Аспект описания (страта) – описание системы или ее части с некоторой оговоренной точки зрения, определяемой функциональными, физическими или иного типа отношениями между свойствами и элементами.

Различают ***функциональный***, ***информационный***, ***структурный*** и ***поведенческий*** (процессный) ***аспекты***.

Функциональное описание относят к функциям системы и чаще всего представляют его функциональными схемами.

Информационное описание включает в себя основные понятия предметной области (сущности), словесное пояснение или числовые значения характеристик (атрибутов) используемых объектов, а также описание связей между этими понятиями и характеристиками. Информационные модели можно представлять графически (графы, диаграммы *сущность – отношение*), в виде таблиц или списков.

Структурное описание относится к морфологии системы, характеризует составные части системы и их межсоединения и может быть представлено структурными схемами, а также различного рода конструкторской документацией.

Поведенческое описание характеризует процессы функционирования (алгоритмы) системы и (или) технологические процессы создания системы.

Иногда аспекты описаний связывают с подсистемами, функционирование которых основано на различных физических процессах.

Отметим, что в общем случае выделение страт может быть неоднозначным. Так, помимо указанного подхода очевидна целесообразность выделения таких аспектов проектирования, как *функциональное* (разработка принципов действия, структурных, функциональных, принципиальных схем), *конструкторское* (определение форм и пространственного расположения компонентов изделий), *алгоритмическое* (разработка алгоритмов и программного обеспечения) и *технологическое* (разработка технологических процессов) проектирование систем. Примерами страт в случае САПР могут служить также рассматриваемые далее виды обеспечения автоматизированного проектирования.

Структурный подход к проектированию требует синтезацию вариантов системы из компонентов (блоков, модулей) и оценку этих вариантов (предварительно спрогнозировав характеристики компонентов). Он основан на идее алгоритмической декомпозиции (по методу «сверху-вниз»), где каждый блок (модуль) системы выполняет один из этапов общего процесса проектирования. Таким образом, представление о проектируемой системе расчленяется на отдельные блоки (модули), являющиеся частями алгоритма функционирования системы.

Структурный подход включает в себя создание структуры проектируемой системы и расчет ее параметров. Эти две части подхода называют *структурным и параметрическим синтезом* системы (как это было сказано в лекции 1). Задачи структурного синтеза относятся к задачам проектирования, наиболее сложным с точки зрения возможности их формализации.

Результатом структурного синтеза должны быть или перечень типов элементов вместе с таблицей соединений, или схема расположения элементов с указанием их типа, или эскизный чертеж, или схема алгоритма и т. п. Структурный синтез обычно осуществляется по блочно-иерархическому принципу. Это означает, что синтезируется не вся сложная система целиком, а на каждом уровне проектирования синтезируется определенный уровень системы – структурная схема (элементы изображения устройств), далее функциональная схема и конструкции устройств (элементы, блоки), затем более мелкие функциональные и конструктивные единицы. Такой подход существенно упрощает решение задачи синтеза.

Параметрический синтез систем обычно реализуют с помощью методов и алгоритмов оптимизации. Однако для непрерывных систем (когда управляемые параметры непрерывны и могут принимать любые значения в пределах непрерывной допускаемой области) и для дискретных систем (с дискретными внутренними параметрами) методы оптимизации имеют существенное отличие. Задачи дискретной оптимизации относятся к задачам дискретного математического программирования.

Задачи дискретного программирования считаются более трудными для решения, чем задачи математического программирования с непрерывными параметрами.

Сложность решения задач синтеза систем естественно отождествлять со сложностью производственных систем. Для поддержки концептуального проектирования сложных плохо структурированных систем наиболее перспективными являются генетические методы оптимизации, экспертные системы и CASE-системы, которые будут рассмотрены в последующих лекциях.

Объектно-ориентированный подход рассматривает сложную систему как совокупность взаимодействующих друг с другом объектов, каждый из которых является экземпляром отдельного класса. Такой подход наиболее перспективен при проектировании и моделировании сложных систем.

При структурном подходе жизненный цикл разработки сложной системы складывается из этапов анализа, проектирования, программирования, тестирования и сопровождения, которые выполняются последовательно. Главным недостатком такого подхода является последовательность выполнения этапов. Например, программирование можно начать только по завершении анализа и проектирования. Это приводит к большим потерям времени, не позволяет быстро разрабатывать прототипы программной системы. Этот подход не согласуется с интерактивным характером разработки программной системы, поскольку на последних этапах может выясниться необходимость внесения изменений в решения, принятые на предыдущих этапах (см. лекцию 1).

В целом структурному подходу присущи следующие недостатки [6]:

– трудоемкость внесения изменений;

– большой объем документации по проекту;

– серьезные ограничения возможностей сборки системы из готовых компонентов;

– сложность переноса на другие платформы.

Стремление избавиться от недостатков структурного подхода, базирующегося на системном анализе, привело к возникновению объектно-ориентированного анализа (ООА). В ООА такие понятия, как система, структура, состояние, иерархия, событие,

сущность, пришедшие из системотехники, были дополнены новыми понятиями, такими как *домен, класс, объект, атрибут, наследственность, инкапсуляция, полиморфизм* и др.

Долгое время объектно-ориентированный подход (ООП) (на базе ООА) развивался почти исключительно программистами, хотя в начале он предназначался для моделирования (проектирования) сложных систем и использовался в языке моделирования Simula-67. Своеобразным итогом многолетнего развития объектно-ориентированного программирования можно считать появление «унифицированного языка моделирования» UML (Unified Modeling Language).

Только в последние годы ООП стал востребованным в своей первоначальной области – моделировании. Для его реализации наиболее известны пакеты Simulink и Stateflow, работающие вместе с Matlab.

Рассмотрим несколько основополагающих понятий объектно-ориентированного анализа (ООА): ***сущность, связь, атрибут***.

Под *сущностью* (entity) понимается произвольное множество реальных или абстрактных объектов, каждый из которых обладает одинаковыми свойствами и характеристиками. В этом случае каждый рассматриваемый объект может являться экземпляром одной и только одной сущности, должен иметь уникальное имя или идентификатор, а также отличаться от других экземпляров данной сущности. Примерами сущностей могут быть: предприятие, фирма, цех, банк, клиент банка, технология, компьютер, рейс. Каждая из сущностей может рассматриваться с различной степенью детализации, что определяется конкретной постановкой задачи.

Связь (relationship) определяется как отношение или некоторая ассоциация между отдельными сущностями. Примером связей могут быть родственные отношения типа «отец – сын» или производственные отношения «начальник – подчиненный». Другой тип связей задается отношениями «иметь в собственности», «обладать свойством» или «быть частью».

Атрибут – это каждая отдельная характеристика, которая является общей для всех возможных экземпляров объекта.

Атрибутами являются такие характеристики, как высота, температура, регистрационный номер или положение предметов в реальном мире.

Чтобы обратиться к атрибуту, пишут <имя объекта>, <имя атрибута>, как например:

– самолет, размах крыла;

– листопрокатный стан, 1500;

– аудитория, лекционная.

Фундаментальными понятиями объектно-ориентированного подхода являются понятия *объекта*, *класса*, *домена*. *Объекты* – конкретные предметы, а также абстрактные и реальные сущности в реальном мире, а точнее, в интересующей разработчика предметной области. Например, объектами могут быть: студент, кафедра, университет. Объект обладает индивидуальностью и поведением, имеет атрибуты, значение которых определяют его состояние. Так, конкретный студент, сдавая экзамен, может оказаться в состоянии, когда его ответы не удовлетворяют экзаменатора, а его «поведение» в этом случае заключается в «дополнительной подготовке к экзамену».

Класс – это абстрактная совокупность объектов, которые имеют общий набор свойств и обладают одинаковым поведением. Понятие класса впервые было введено в язык UML. Объекты и классы обладают характерными свойствами, которые активно используются при объектно-ориентированном подходе и во многом определяют его преимущество. К важной особенности классов относится возможность их организации в виде некоторой иерархической структуры.

Домен – отдельная предметная область, «населенная» набором объектов, которые ведут себя в соответствии с правилами домена. Большие домены разбивают на подсистемы.

Основными принципами объектно-ориентированного подхода являются: *наследование*, *инкапсуляция* и *полиморфизм*.

Наследование – первый принцип, в соответствии с которым знание о более общей категории разрешается применять для более частной категории. Наследование тесно связано с иерархией классов, которая определяет, какие классы следует считать

наиболее абстрактными и общими по отношению к другим классам. При этом если родительский класс (предок) обладает фиксированным набором свойств и поведением, то производный от него класс (потомок) должен содержать этот же набор свойств и поведение, а также дополнительные свойства, которые будут характеризовать уникальность полученного таким образом класса. В качестве примера можно привести общий класс «Автомобиль», а в качестве производных классов рассмотреть «Легковой автомобиль», «Легковой автомобиль производства BMW», «Конкретную модель BMW». Наследование, позволяющее создавать иерархию классов, является эффективным средством внесения изменений и дополнений в программы проектируемых систем.

Инкапсуляция – это сокрытие отдельных деталей внутреннего устройства классов от внешних по отношению к нему объектов или пользователей. Объекты можно считать самостоятельными сущностями, отделенными от внешнего мира. Для того чтобы объект произвел некоторое действие, ему извне необходимо послать сообщение, которое инициирует выполнение нужного действия. Инкапсуляция позволяет изменять реализацию любого класса объектов без опасения, что это вызовет нежелательные побочные эффекты в программной системе. Тем самым упрощается процесс исправления ошибок и модификацию программ.

Полиморфизм – это свойство некоторых объектов принимать различные внешние формы в зависимости от обстоятельств. Применительно к объектно-ориентированному программированию (ООП) полиморфизм означает, что действия, выполняемые одноименными методами, могут отличаться в зависимости от того, к какому из классов относится тот или иной метод [7]. Рассмотрим, например, три объекта соответствующих классов: «Студент», «Водитель», «Фигурист». Для каждого из них можно определить операцию учиться. Однако результат выполнения этой операции будет отличаться для каждого из рассмотренных объектов.

Методология ООП оказала влияние на процесс разработки программ. *Процедурно-ориентированная декомпозиция* программ уступила место *объектно-ориентированной декомпозиции*, при которой отдельными структурными единицами программы стали

являться не процедуры и функции, а классы и объекты с соответствующими свойствами и методами (действиями). Программа стала *событийно-управляемой* и перестала быть последовательностью предопределенных на этапе кодирования действий. При разработке современных приложений каждая программа представляет собой бесконечный цикл ожидания некоторых заранее определенных событий. При этом инициаторами событий могут быть другие программы или пользователи.

При использовании методологии ООП написание программного кода может быть отделено от процесса проектирования структуры программы. До начала программирования классов, их свойств и методов необходимо определить, чем же являются сами эти классы. Более того, нужно дать ответы на такие вопросы, как: сколько и каких классов необходимо определить для решения поставленной задачи, какие свойства и методы необходимы для придания классам необходимого поведения, а также установить взаимодействие между классами. Таким образом, анализ предметной области решаемой задачи необходимо проводить до начала написания программы.

Жизненный цикл объектно-ориентированной разработки программных систем содержит несколько этапов, но в отличие от структурного подхода в нем нет строгой последовательности их выполнения. Процесс носит принципиально итерационный характер, что значительно упрощает написание программ [6].

Разработка начинается с этапа исследования (объектно-ориентированного анализа). Здесь предъявляются требования к системе. Затем осуществляется анализ предметной области, в ходе которого определяются классы и объекты, которые составляют словарь предметной области.

После исследования начинается объектно-ориентированное проектирование, в ходе которого детализируются классы и объекты, полученные на этапе анализа. При этом могут вводиться новые классы и объекты, если это потребуется. В результате проектирования должна быть создана детальная модель системы, составлены спецификации объектов, классов и отношений, достаточных для программирования.

Для разработки программных систем используются инструментальные средства CASE-систем, такие как SADT – Structured Analysis and Design Technique, IDEF – Integrated DEFinition и UML. Эти средства будут рассмотрены в последующих лекциях.

В отличие от процедурно-ориентированного подхода к программированию, в объектно-ориентированном подходе к моделированию и проектированию реальных физических систем различного назначения полиморфизмом называется возможность использования вместо объектов одного декларированного класса объектов другого класса, называемого замещающим, совместного с первым. Совместимость классов означает, что либо замещающий класс является потомком декларированного класса, либо декларирован интерфейс, а замещающий класс реализует этот интерфейс. Таким образом, можно выделить «совместимость по наследованию» и «совместимость по интерфейсу». Под интерфейсом в объектно-ориентированном моделировании (ООМ) следует понимать некоторую совокупность видимых компонентов объекта, т. е. для блока (на структурной схеме объекта) – это внешние переменные и видимые извне процедуры и функции. Таким образом, если блок (замещающего класса) содержит совокупность видимых компонентов с теми же именами, что в декларации интерфейса, и с совместимыми типами, то блок реализует этот интерфейс. Каждый блок неявно задает определенный интерфейс – совокупность всех своих внешних компонентов [8].

Особенность процесса разработки современных сложных систем состоит в том, что центр тяжести работ смещается от программирования к более ранним этапам – анализу и проектированию.

Рассмотрим основные преимущества объектно-ориентированного подхода [6]:

– *распараллеливание работ* (программирование и тестирование отдельных компонентов системы возможно до завершения проектирования, возможность внесения изменений и дополнений без переработки проекта);

– *гибкость архитектуры и переносимость* (в клиент-серверной системе объекты могут размещаться как на местах клиента,

так и на сервере. Возможность реализации классов на компьютерах различного типа, а фиксированный интерфейс каждого класса обеспечивает правильность функционирования системы);

– *возможность повторного использования программных компонентов* (библиотеки классов позволяют значительно снизить объем программирования новых приложений);

– *естественность описания* (использования естественного языка описания предметной области, легко выделяются объекты и связи между ними) [6].

Основные недостатки объектно-ориентированного подхода [6]:

– объектно-ориентированная декомпозиция заметно отличается от алгоритмической, что влечет за собой необходимость преодоления психологических трудностей и дополнительные расходы на обучение новой методике и языку программирования;

– основные недостатки объектно-ориентированного подхода лежат в области программирования: активное динамическое создание и удаление новых объектов (что широко используется в объектно-ориентированных языках);

– многочисленность методов и их излишние вызовы (для доступа к многим атрибутам объектов используются специальные методы).

Однако надо иметь в виду, что при использовании традиционных технологий некоторые результаты можно получить и при сравнительно небольших затратах, но на определенной стадии наступает насыщение, когда даже значительные дополнительные затраты не приводят к существенному повышению эффективности.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятия «проектирование».

2. Дайте развернутую характеристику подходов к проектированию сложных технических систем.

3. Сформулируйте основные принципы проектирования.

4. Опишите укрупненную схему процесса проектирования сложных систем.

5. Назовите основные стадии и процедуры процесса проектирования.

6. Прокомментируйте содержание основных стадий процесса проектирования.

7. Прокомментируйте содержание основных процедур процесса проектирования.

8. Опишите назначение и порядок проведения предпроектной стадии проектирования.

9. Опишите блочно-иерархический подход к проектированию сложных систем (стили проектирования, аспекты описания).

10. Дайте характеристику структурному подходу к проектированию сложных систем (две части структурного подхода).

11. Укажите основные недостатки структурного подхода к проектированию.

12. Сформулируйте основные принципы необходимости объектно-ориентированного подхода к проектированию сложных систем.

13. Рассмотрите основные понятия объектно-ориентированного анализа (ООА).

14. Опишите фундаментальные понятия объектно-ориентированного подхода.

15. Сформулируйте основные принципы объектно-ориентированного подхода.

16. Укажите основные преимущества и недостатки объектно-ориентированного подхода.

Лекция 4
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

В лекции 1 (п. 1.1) было сказано, что в состав развитых машиностроительных систем автоматизированного проектирования (САПР) на этапах проектирования и подготовки производства входят в качестве составляющих системы CAD, CAE и CAM.

4.1. Общая характеристика систем автоматизированного проектирования

Рассмотрим основные функции автоматизированных систем CAD, CAE и CAM на этапах проектирования и подготовки производства.

CAD – автоматизированное проектирование – представляет собой компьютерную технологию для облегчения создания, изменения, анализа и оптимизации проектов. Наиболее важным компонентом CAD являются системы автоматизированной разработки рабочих чертежей и системы геометрического моделирования. Кроме того, CAD используется для оптимизации и анализа, имеет программы для анализа допусков, расчета массинерциальных свойств, моделирования методом конечных элементов и визуализации результатов анализа.

CAM – автоматизированное производство – это компьютерная технология для планирования, управления и контроля операций производства через прямой и косвенный интерфейс с производственными ресурсами предприятия. CAM используется для числового программирования управления станками с ЧПУ

и роботами, работающими на гибких автоматизированных участках. В задачах планирования производства CAM стыкуется с автоматизированной системой *MRP* и *ERP* через систему *PDM* (*MRP – material requirement planning* – планирование технических требований к материалам).

CAE – автоматизированное конструирование – это компьютерная технология для анализа геометрии деталей, моделирования и изучения поведения изделий для усовершенствования и оптимизации их конструкций. Средства CAE могут осуществлять множество различных вариантов анализа (кинематические расчеты, динамический анализ, расчет напряжений методом конечных элементов – *FEM – finite-element method*). Метод FEM рассчитывает теплообмен, распределение магнитных полей, потоков жидкости и другие задачи с непрерывными средами. Для применения метода FEM необходима аналитическая модель объекта подходящего уровня.

CAE наиболее эффективно используется на стадии анализа и оптимизации конструкции.

Функции CAD-систем

Функции CAD-систем в машиностроении подразделяют на функции двумерного и трехмерного проектирования. К функциям *2D* относят черчение, оформление конструкторской документации; к функциям *3D* – получение трехмерных геометрических моделей, метрические расчеты, реалистичную визуализацию, взаимное преобразование *2D*- и *3D*-моделей. В ряде систем предусмотрено также выполнение процедур, называемых процедурами позиционирования. К ним относят компоновку и размещение оборудования, проведение соединительных трасс.

Среди CAD-систем различают системы нижнего, среднего и верхнего уровней. Первые из них иногда называют «легкими» системами, они ориентированы преимущественно на *2D*-графику, сравнительно дешевы, основной аппаратной платформой для их использования являются персональные ЭВМ. Системы верхнего уровня, называемые также «тяжелыми», дороги,

более универсальны, ориентированы на геометрическое твердотельное и поверхностное *3D*-моделирование, оформление чертежной документации в них обычно осуществляется с помощью предварительной разработки трехмерных геометрических моделей. Системы среднего уровня по своим возможностям занимают промежуточное положение между «легкими» и «тяжелыми».

К важным характеристикам CAD-систем относятся параметризация и ассоциативность. Параметризация подразумевает использование геометрических моделей в параметрической форме, т. е. при представлении части или всех параметров объекта не константами, а переменными. Параметрическая модель, находящаяся в базе данных, легко адаптируется к разным конкретным реализациям и поэтому может использоваться во многих конкретных проектах. При этом появляется возможность включения параметрической модели детали в модель сборочного узла с автоматическим определением размеров детали, диктуемых пространственными ограничениями. Эти ограничения в виде математических зависимостей между частью параметров сборки отражают ассоциативность моделей.

Параметризация и ассоциативность играют важную роль при проектировании конструкций узлов и блоков, состоящих из большого числа деталей. Действительно, изменение размеров одних деталей оказывает влияние на размеры и расположение других. Благодаря параметризации и ассоциативности изменения, сделанные конструктором в одной части сборки, автоматически переносятся в другие части, вызывая изменения соответствующих геометрических параметров в этих частях.

CAD-системы геометрического моделирования делятся на *каркасные*, *поверхностные*, *твердотельные* и *немногообразные* [9].

Каркасное моделирование (wireframe modeling systems) представляют форму тела в виде набора характеризующих ее линий и конечных точек. Визуальная модель представляет собой каркасный чертеж формы, а соответствующее математическое описание представляет набор уравнений кривых, координат точек и сведений о связности кривых и точек (принадлежность точек

к конкретным кривым, а также пересечение кривых друг другом). Однако эта модель не содержит сведений о внутренних и внешних поверхностях объекта, что не позволяет рассчитать массу объекта.

В *системах поверхностного моделирования* (surface modeling systems) математическое описание визуальной модели включает в себя не только сведения о характеристических линиях и их конечных точек, как в каркасном моделировании, но и данные о поверхностях. При работе с отображаемой на экране моделью изменяются уравнения поверхностей, кривых и координат конечных точек. Существует три стандартных метода создания поверхностей в системах поверхностного моделирования:

– интерполяция входных точек;
– интерполяция криволинейных сеток;
– трансляция и вращение заданной кривой.

Системы твердотельного моделирования (solid modeling systems) предназначены для работы с объектами, состоящими из замкнутого объема или монолита (solid). Системы линий и поверхностей должны образовывать замкнутый объем, т. е. объем тела полностью заполнен материалом. Математическое описание объекта, созданного в системе твердотельного моделирования, содержит сведения, по которым система может определить, где находится какая-либо точка: внутри объекта, снаружи него или на его границе.

Немногообразные системы моделирования (nonmanifold modeling systems) позволяют использовать каркасные, поверхностные, твердотельные и сотовые (а также другие немногообразные) модели одновременно в одной и той же системе моделирования, расширяя диапазон доступных моделей сверх возможностей любой из упомянутых систем. К сожалению, обычные системы геометрического моделирования (каркасные, поверхностные, твердотельные) не поддерживают моделирование немногообразных моделей.

Более подробно системы геометрического моделирования описаны в [9].

Функции CAM-систем

Основные функции CAM-систем: разработка технологических процессов, синтез управляющих программ для технологического оборудования с ЧПУ, моделирование процессов обработки, в том числе построение траекторий относительного движения инструмента и заготовки в процессе обработки, генерация постпроцессоров для конкретных типов оборудования с ЧПУ, расчет норм времени обработки.

Другая важная функция CAM – программирование роботов, которые могут работать в гибких производственных системах и на автоматизированных участках. Еще одна важная функция CAM состоит в автоматизации *технологической подготовки производства* (Computer Aided Process Planning – CAPP). Автоматизация технологической подготовки производства связывает проектирование и производство и позволяет достигнуть полную интеграцию CAD и CAM.

CAPP составляет основу CAM и выполняет синтез технологических процессов и программ для оборудования с ЧПУ, а также выбор оборудования, оснастки, инструмента, расчет норм времени и т. п.

Технология подготовки производства (CAPP) заключается в выборе технологических процессов и их параметров, а также оборудования для реализации этих процессов. Технологическую подготовку можно определить также, как составление подробных технологических инструкций для станка или сборщика агрегата, изделий.

Автоматизированный подход к подготовке производства реализуется в виде *модифицированного подхода* (variant approach) или *генеративного подхода* (generative approach).

Модифицированный подход называется так потому, что он является модификацией неавтоматизированного (традиционного) планирования производства, выполняемого вручную: технолог пользуется не только своей памятью, но и памятью компьютера. Другими словами, рабочий журнал технолога хранится в компьютерном файле.

Типичный технологический план производства подобной детали может автоматически извлекаться из такого файла после описания анализируемой детали в соответствии с определенной системой кодирования. Выбранный план производства может редактироваться в интерактивном режиме; в него вносятся поправки, соответствующие специфике конкретной детали. Таким образом, модифицированный подход требует наличия базы данных со стандартными планами производства для каждого семейства деталей. Такой план должен содержать все инструкции, которые будут входить в план производства любой детали из данного семейства. Детали классифицируются по семействам на основании концепции групповой технологии. Согласно этой концепции каждой детали присваивается код, зависящий от ее элементов, после чего детали группируются в семейства в соответствии с присвоенными кодами. О групповой технологии будет рассказано в другом разделе.

Итак, модифицированный подход к разработке плана производства выражается в следующем. Технологическая подготовка производства новой детали начинается с кодирования ее особенностей, что эквивалентно описанию детали на языке группой технологии. Затем деталь может быть отнесена к какому-либо семейству на основании ее кода, после чего из базы данных извлекается стандартный план производства для деталей этого семейства. В плане содержатся общие инструкции по производству любых деталей семейства, поэтому может потребоваться его редактирование для получения плана нужной детали.

Редактирование осуществляется средствами компьютерной системы. Часто изменения оказываются незначительными, потому что новый план представляет собой лишь небольшую модификацию стандартного. Благодаря этому на этапе подготовки плана экономится время, а готовые планы оказываются гораздо более последовательными, чем разрабатываемые вручную.

Если деталь нельзя отнести к одному из существующих семейств, технолог может разработать новый стандартный план производства в интерактивном режиме.

Генеративный подход (generative approach) состоит в том, что технологический план вырабатывается автоматически на основании технических требований к детали. В технические требования должны включаться подробные сведения о материале, особенностях обработки и предлагаемых методиках проверки, а также графическое изображение формы детали.

На первом этапе разработки плана производства новой детали при генеративном подходе технические требования вводятся в компьютерную систему. В идеале они должны считываться непосредственно из базы данных САПР. Для этого необходимо, чтобы автоматизированная система технологической подготовки могла распознавать элементы детали, требующие машинной обработки, такие как отверстия, пазы и выемки.

Реализация первого этапа значительно упрощается, если при моделировании детали используется объектно-ориентированный подход. Однако даже конструктивные элементы, используемые в системе объектно-ориентированного моделирования, могут потребовать преобразования к элементам, которые могут быть изготовлены машинной обработкой.

Некоторые конструктивные элементы однозначно сопоставляются с технологическими, тогда как преобразования других представляют собой не совсем обычную процедуру. Кроме того, информации об элементах, вообще говоря, недостаточно для технологической подготовки производства. Например, большинство моделей CAD не содержат сведений о допусках и материалах, и их приходится вводить вручную. При этом схема кодирования должна определять все геометрические элементы и их параметры, в частности положение, размеры и допуски. Закодированные данные сопровождаются информацией в текстовом формате. Наконец, система должна иметь сведения о форме заготовки.

На втором этапе закодированные данные и текстовая информация преобразуются в подробный технологический план производства детали. На этом этапе определяется оптимальная последовательность операций и условия их выполнения. К условиям относятся используемые инструменты, крепления, измерительные приборы, зажимы, схемы подачи и скорости обработки. Для

построения столь подробного плана производства детали произвольной сложности требуется большая база данных и сложная логическая система.

Этап технологической подготовки производства в основном сводится к решению следующих задач [1]:

– разработка технологий изготовления изделий, инструментов, приспособлений и т. д. на основе их геометрических моделей, полученных на этапе проектирования (CAD);

– подготовка программ для технологического оборудования (станков, прессов, прокатных станов и др.) с ЧПУ по спроектированным технологиям.

Программные среды, с помощью которых решаются задачи этого этапа, можно объединить в две группы. К первой из них следует отнести программные комплексы, специально разработанные для выполнения всего цикла или определенных процедур технологической подготовки производства. Среди данной группы программного обеспечения можно выделить ADEM, ArtCAM, EdgeCAM и некоторые разработки российских фирм: КОМПАС, АВТОПРОЕКТ (Аскон) – проектирование технологических процессов механообработки, штамповки, сборки, термообработки; FLEX ТехноПро (Топ Системы) – проектирование технологии механообработки, сборки, сварки, пайки, нанесения покрытий, штамповки, ковки, термообработки; СИТЕП ЛШ – листовая штамповка; TECHCARD (Интермех) – комплексная система автоматизации технологической подготовки производства; ТехноПро (Вектор) – универсальная система автоматизации технологического проектирования; SprutCAM, СПРУТ-ТП (СПРУТ-Технологии) – система автоматизированного проектирования технологических процессов и др.

Другую группу программного обеспечения составляют программные системы сквозного проектирования и технологической подготовки производства: CATIA, EUCLID3, Unigraphics, Pro/Engineer, CADDS и др.

Контроль качества управляющих программ выполняют специальные программы, например такие, как NC Simul, NC Formater и др.

В производстве машиностроительных и части приборостроительных изделий используют технологии, в основе которых лежат различные физические процессы: механообработка, электроэрозионная обработка, литье металлов и пластмасс и др.

В автоматизированных системах сквозного проектирования и подготовки производства наиболее часто реализованы следующие виды механообработки: 2,5-, 3- и 5-координатное фрезерование, токарная обработка, сверление, нарезание резьбы и др.; имеется возможность моделировать движение инструмента и снятие материала во время черновой и чистовой обработки поверхности изделия. Например, в простейшем варианте 2- и 2,5-координатной обработки поверхностей: контурная обработка, фрезерование призм и тел вращения, выборка карманов с возможностью движения «в одну сторону», зигзаг, спираль, а также нарезание резьбы и снятие фасок. В модулях 3- и 5-координатного фрезерования программных систем сквозного проектирования и технологической подготовки производства реализованы практически все возможные способы обработки поверхностей изделий, например такие, как фрезерование поверхности с управлением угла наклона инструмента, шлифующее резание с возможностью обдувки и др.

При выполнении различных видов механообработки используется общая база данных для поддержки связи между геометрической моделью обрабатываемой детали и управляющей программой для станка с ЧПУ, где проходы инструмента создают по геометрии модели. Изменение геометрии отражается в управляющей программе. Траектория движения инструмента создается интерактивно по поверхности модели изделия, благодаря чему технологи получают возможность визуально наблюдать на экране монитора имитацию процесса удаления стружки, контролировать зарезы и быстро вносить изменения в циклы обработки.

С помощью специальных функций автоматически вычисляется объем, который необходимо удалить из заготовки при обработке изделия.

В системах сквозного проектирования и технологической подготовки производства различных фирм-разработчиков реализо-

ваны свои подходы к организации программ, свои алгоритмы и методы. Более подробно эти подходы реализованы в системах верхнего уровня САПР, например в системе EUCLID3 фирмы EADS MATRA DATA VISION (Франция), которая воплотила многолетний опыт специалистов различных отраслей и считается одной из лучших в мире. В [1] описаны основные положения проектирования технологий фрезерной и токарной обработки.

Практика показывает, что предприятия по-разному подходят к созданию своих интегрированных информационных систем, предназначенных для комплексного решения задач автоматизации конструирования, инженерного анализа и технологической подготовки производства. Во многих случаях на рабочих местах конструкторов и технологов устанавливаются программные среды различных фирм-разработчиков. В этих условиях вопросы организации обмена информацией становятся актуальными. Известно, что обмен без потерь информации достигается при наличии единой базы данных для различных подсистем. Этим выгодно отличаются комплексные системы сквозного проектирования и подготовки производства верхнего уровня. В тех случаях, когда на рабочих местах устанавливаются программные среды различных фирм, организация обмена информацией ложится на самих пользователей. Поэтому важно, чтобы для таких программ были разработаны соответствующие интерфейсы с необходимой полнотой реализации форматов (CALS-технологии).

При подготовке производства также широко используется *групповая технология проектирования и подготовки производства*.

Групповая технология – это группировка задач, в основном подобных друг другу, позволяющая найти общее их решение, сэкономив тем самым время и усилия.

Это всеобъемлющее определение можно конкретизировать, определив область его применения. Суть групповой технологии состоит в создании базы данных подобных деталей, проектов и технологий и использовании этой базы для внедрения общей процедуры проектирования и производства таких деталей. Детали объединяются в семейства по конструктивному подобию

(например, по схожести форм) и по технологическому подобию (например, по необходимым операциям, таким как фрезерование или сверление).

Групповая технология широко используется для упрощения продвижения продуктов на производстве. Выделение деталей с общими технологическими параметрами позволяет разработать эффективные планы производства, выделяя для каждого семейства одну ячейку плана. Таким образом, упрощаются технологические маршруты, сокращаются временные затраты на передачу материалов между станками и длительность производственных циклов.

Более того, поскольку подобные детали производятся на одних и тех же станках, часто сокращаются и временные затраты на настройку станков. Может использоваться специальное технологическое оснащение. В предыдущем разделе отмечалось, что коды групповой технологии используются для выбора существующих планов в автоматизированной технологической подготовке производства.

Инженерам-технологам не приходится разрабатывать планы с нуля для каждой новой детали – вместо этого они могут обращаться к планам производства аналогичных деталей и изменять их в соответствии с техническими требованиями к новым деталям.

Концепция групповой технологии дает преимущества и на этапе проектирования. С ее помощью часто удается устранить избыточное разнообразие деталей, предоставив конструкторам возможность осуществлять поиск по семействам деталей. Часто конструкторы просто не знают о наличии аналогичных проектов среди текущих разработок. Обычно это бывает связано с тем, что система нумерации деталей не дает им достаточной информации. В таких случаях возникает тенденция к дублированию деталей с незначительными изменениями, не имеющими отношения к назначению деталей. Избыток деталей приводит к быстрому увеличению количества бумаг, а также к расходам заготовок.

В процессе разработки технических изделий широкое применение находят их физические прототипы [9].

Быстрое прототипирование и изготовление (БПИ) – это способ физического моделирования для получения физического прототипа конструкции, например детали (физический объект), – широко используется на стадии анализа проекта (детали) по окончании концептуального проектирования.

В своей основе процессы быстрого прототипирования и изготовления (БПИ) (*rapid prototyping and manufacturing*) состоят из трех шагов: формирование поперечных сечений изготовляемого объекта из полимерных материалов (или за счет спекания твердых частиц и порошка лучом лазера); послойное наложение этих сечений и комбинация слоев. Поэтому для создания физического объекта требуются только данные о его поперечных сечениях. Процессы БПИ являются безынструментальными – позволяют создавать физический объект без использования инструментов (по сравнению, например, со станками с ЧПУ).

Данные о поперечных сечениях изделия можно получить, используя объемные 3*D*-чертежи деталей, полученных методами геометрического (например, твердотельного) моделирования.

Методы БПИ [9, с. 379–412]

1. Стереолитография.
2. Отверждение на твердом основании.
3. Избирательное лазерное спекание.
4. Трехмерная печать.
5. Ламинирование.
6. Моделирование методом наплавления.

Кратко рассмотрим все перечисленные методы.

Стереолитография. Метод основан на избирательном отверждении поверхностного слоя фотополимера и построении трехмерных объектов из последовательно наложенных слоев.

Процесс изготовления детали протекает и следующим образом (рис. 4.1):

1. Фоточувствительный полимер, затвердевающий на свету, поддерживается в жидком состоянии.

2. На толщину одного слоя ниже поверхности жидкого полимера помещается платформа, способная двигаться в вертикальном направлении.

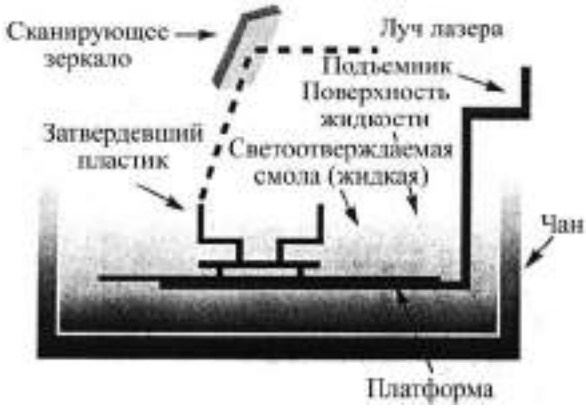


Рис. 4.1. Процесс стереолитографии

3. Ультрафиолетовый лазер сканирует слой полимера над платформой, отверждая полимер по форме соответствующего поперечного сечения. Обратите внимание, что этот процесс начинается с нижнего поперечного сечения детали.

4. Платформа опускается в ванну с полимером на толщину одного слоя, давая полимеру растечься по поверхности детали для начала нового слоя.

5. Шаги 3 и 4 повторяются до тех пор, пока не будет наращен верхний слой детали.

6. Для полного затвердевания детали выполняется окончательное отверждение. Этот шаг необходим, поскольку в каждом слое могут еще оставаться жидкие участки. Так как лазерный луч имеет конечные размеры, сканирование каждого слоя аналогично закрашиванию некоторой фигуры тонкой цветной ручкой.

Габаритные размеры ванн 500×500×500 мм. Толщина слоев составляет 50…150 мкм. Точность моделей 0,1 мм.

Отверждение на твердом основании (*solid ground curing* – SGC). В этом случае каждый слой отверждается путем экспонирования ультрафиолетовой лампой, а не сканирования лазерным лучом. Таким образом, все точки слоя затвердевают одновременно и окончательного отверждения не требуется. Типичный

процесс отверждения на твердом основании имеет место в системе *Solider* от *Cubatal Israel*, работа которой происходит следующим образом:

1. По данным геометрической модели детали и желаемой толщине слоя рассчитывается поперечное сечение каждого слоя.

2. Для каждого слоя изготавливается оптическая маска по форме соответствующего поперечного сечения.

3. После выравнивания (рис. 4.2, *а*) платформа покрывается тонким слоем жидкого фотополимера (рис. 4.2, *б*).

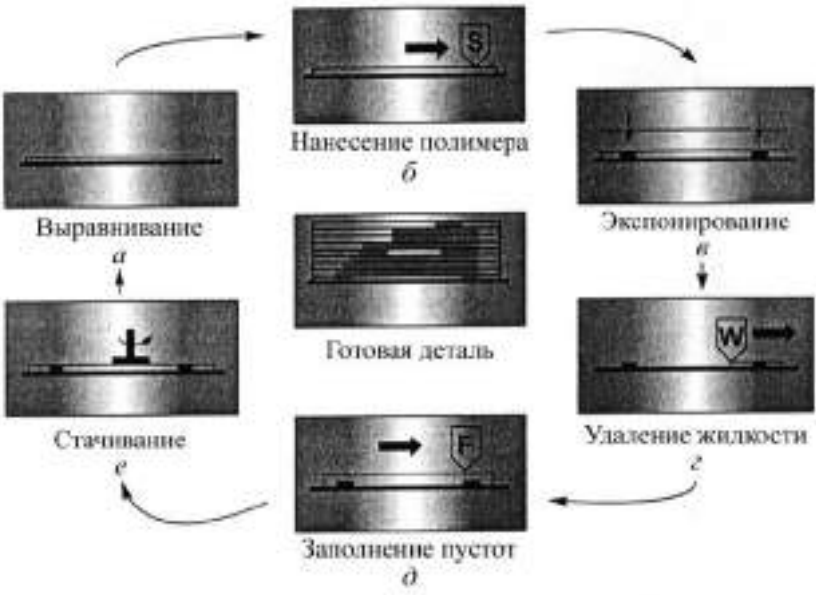


Рис. 4.2. Система Solider

4. Над поверхностью жидкой пластмассы помещается маска, соответствующая текущему слою, и пластмасса экспонируется светом мощной ультрафиолетовой лампы (рис. 4.2, *в*). Обратите внимание, что процесс начинается с маски, соответствующей нижнему слою.

5. Оставшаяся жидкость удаляется с изделия аэродинамическим *wiper* [ˈwaipə] – очистителем (рис. 4.2, *г*).

6. Изделие покрывается слоем жидкого воска, который заполняет пустоты (рис. 4.2, *д*). Затем к воску прикладывается холодная пластина, и он затвердевает.

7. Слой стачивается до желаемой толщины с помощью шлифовального диска (рис. 4.2, *е*).

8. Готовая часть изделия покрывается тонким слоем жидкого полимера, и шаги 4–7 повторяются для каждого последующего слоя, пока не будет обработан самый верхний слой.

9. Воск расплавляется и удаляется из готовой детали.

Главным преимуществом метода отверждения на твердом основании по сравнению с методом стереолитографии является отсутствие необходимости в поддерживающих структурах. Это обусловлено тем, что пустоты заполняются воском. Кроме того, благодаря использованию света лампы вместо лазерного луча, исключается операция окончательного отверждения. Хотя отверждение на твердом основании позволяет изготавливать детали с большей точностью, чем стереолитография, процесс этот весьма сложен.

Избирательное лазерное спекание. Процесс изготовления детали путем избирательного лазерного спекания, разработанный фирмой DTM (США), протекает следующим образом (рис. 4.3):

1. Цилиндрическая заготовка помещается на высоте, необходимой для того, чтобы на нее можно было осадить слой порошкового материала желаемой толщины. Порошковый материал, используемый для изготовления прототипа, поступает из подающего цилиндра и наносится выравнивающим валиком.

2. Слой порошка избирательно сканируется и нагревается лучом лазера, вследствие чего частицы слипаются между собой. Просканированные частицы порошка образуют требуемое поперечное сечение. Обратите внимание, что этот процесс начинается с нижнего поперечного сечения детали.

3. Цилиндрическая заготовка опускается на толщину одного слоя для нанесения нового слоя порошка.

4. Луч лазера сканирует новый слой порошка, склеивая его с предыдущим и формируя следующее поперечное сечение.

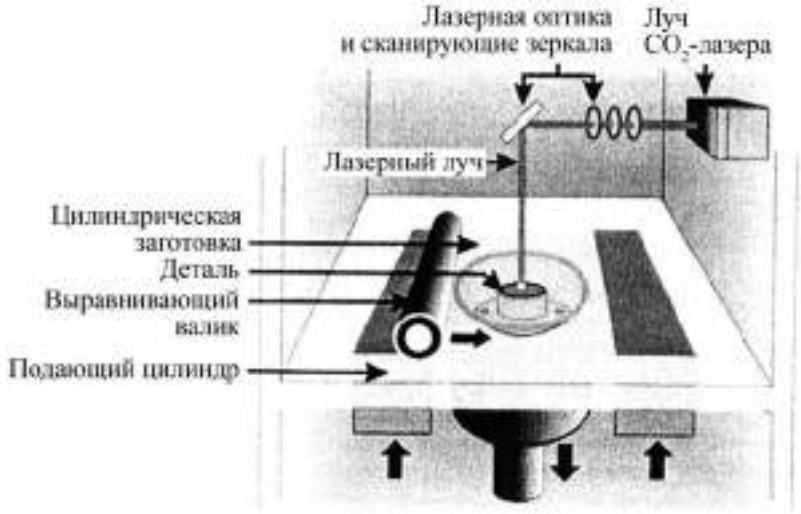


Рис. 4.3. Избирательное лазерное спекание

5. Шаги 3 и 4 повторяются до тех пор, пока не будет создан самый верхний слой детали.

6. Для некоторых материалов может понадобиться окончательное отверждение.

Поддерживающая структура не требуется, потому что пустоты каждого слоя заполняются необработанным порошком. Более того, в качестве материала для процесса избирательного спекания потенциально может использоваться любой плавкий порошок, даже металлический, если лазер обладает достаточной мощностью.

На практике для металлических порошков, частицы которых покрыты термопластическим связующим материалом, используется косвенное спекание. Под лучом лазера связующий материал расправляется и свободно связывает частицы металлического порошка, образуя желаемую форму, которая называется *зеленой деталью* (*green part*). В этом случае достаточно, чтобы мощности лазера хватало для расплавления связующего материала.

Затем зеленая часть подвергается обработке в печи, в ходе которой связующий материал выжигается, а частицы металлического

порошка связываются за счет обычных механизмов спекания. Получившаяся деталь носит название *коричневой детали* (*brown part*). Без дальнейшей обработки деталь будет довольно пористой из-за наличия пустот, которые ранее занимали частицы связующего материала. Чтобы снизить пористость, в печь помещается еще один материал – инфильтрант. Этот металл расплавляется при рабочей температуре печи и проникает в поры детали за счет капиллярного эффекта. Данный метод используется для изготовления форм для литья непосредственно по их геометрическим моделям. Ресурса таких форм достаточно для изготовления от 2 500 до 10 000 деталей-прототипов.

Трехмерная печать. Разработанный в Массачусетском технологическом институте процесс трехмерной печати был назван так из-за своей схожести с печатью на струйном принтере. В трехмерной печати вместо чернил используется жидкое связующее вещество. Процесс трехмерной печати происходит следующим образом (рис. 4.4):

1. Платформа располагается на высоте, необходимой для того, чтобы можно было нанести на нее слой керамического порошка надлежащей толщины.

2. Нанесенный слой керамического порошка избирательно сканируется печатающей головкой, из которой поступает жидкое связующее вещество, вызывающее прилипание частиц друг к другу. Отсканированные печатающей головкой частицы образуют требуемую форму поперечного сечения. Обратите внимание, что этот шаг начинается с нижнего поперечного сечения.

3. Платформа опускается на одну толщину слоя, позволяя нанести следующий слой порошка.

4. Новый слой сканируется, образуя следующее поперечное сечение и склеиваясь с предыдущим слоем.

5. Шаги 3 и 4 повторяются, пока не будет создан верхний слой детали.

6. Для отверждения детали проводится последующая тепловая обработка.

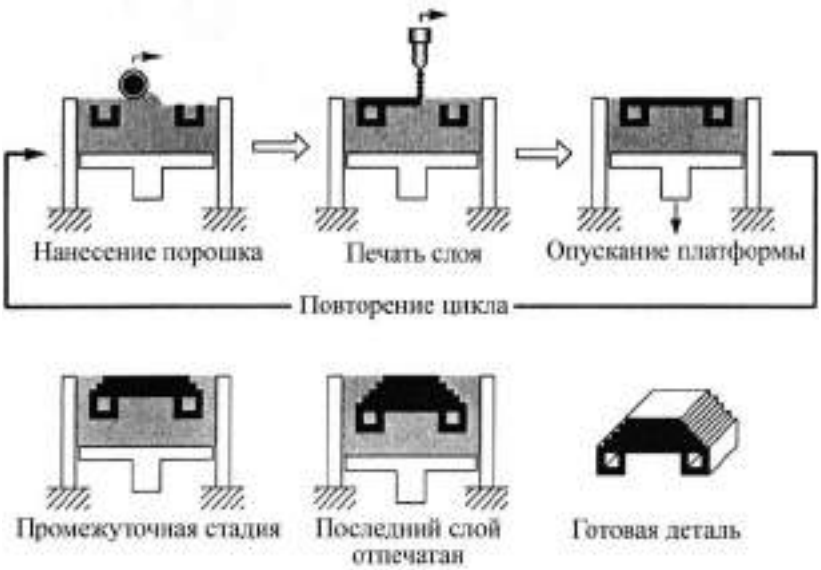


Рис. 4.4. Трехмерная печать

С помощью трехмерной печати было бы удобно изготавливать формы для литья, поскольку форма изготавливается как цельная деталь, состоящая из оболочки и полостей, и положение полостей относительно оболочки можно было бы задавать точно. Однако формы для литья, изготовленные путем современной трехмерной печати, имеют невысокое качество поверхности.

Ламинирование (*laminated object manufacturing* – LOM). Коммерциализированной фирмой *Helisys* деталь изготавливается путем ламинирования и лазерной резки материалов, поступающих в листовом виде. Слипание листов происходит за счет наличия термоадгезивного покрытия. Процесс протекает следующим образом (рис. 4.5):

1. Каждый лист приклеивается к заготовке с помощью нагрева и давления, образуя очередной слой. Листовой материал подается в виде непрерывного рулона с одной стороны машины и принимается с противоположной стороны. Температуру и давление,

необходимые для ламинирования, обеспечивает нагретый валик. Обратите внимание на то, что, когда к стопке приклеивается следующий лист, платформа опускается на толщину одного листа.

2. После того как слой (лист) приклеен, он сканируется лазером вдоль контура текущего поперечного сечения. Обычно для этой цели используется лазер на углекислом газе мощностью 25 или 50 Вт. Как и в других процессах, этот шаг начинается с нижнего поперечного сечения. Обратите внимание, что здесь сканирование производится только по контурам. Это делает данный процесс более эффективным, чем процессы, требующие растрового сканирования.

3. Области слоя, выходящие за пределы контуров, штрихуются лазером, т. е. рассекаются на маленькие кусочки, называемые *черепичками* (*tiles*), для последующего удаления, когда деталь будет закончена.

4. Шаги 1–3 повторяются до тех пор, пока не будет наклеен и вырезан верхний слой детали.

5. После того как все слои будут готовы, внутри блока поддерживающего материала окажется готовая деталь. Этот материал затем разматывается на кусочки вдоль линий лазерной штриховки.

6. Готовую деталь можно покрыть герметиком, чтобы предохранить ее от влажности.

Наличие поддерживающего материала вокруг детали имеет свои преимущества и недостатки. Прежде всего, оно исключает необходимость во внешних поддерживающих структурах. При изготовлении детали внутри блока поддерживающего материала, имеющего определенную форму, геометрия всей структуры стабилизирована и соответственно ей не грозит перекос под собственным весом. Более того, нам не приходится беспокоиться об изолированных «островках», которые часто образуются, когда твердое тело, спроектированное в CAD-системе, рассекается на слои.

Иными словами, ламинирование позволяет избежать создания специальных подпорок, которые точно фиксировали бы эти «островки» в пространстве, пока в процессе изготовления не будут созданы «мосты» к оставшимся частям детали. Однако удаление лишнего материала по окончании изготовления детали является непростой задачей.



Рис. 4.5. Процесс ламинирования

Чтобы удалить только излишки, а хрупкие части детали при этом не сломать, необходимо бережно очистить ее вручную. Кроме того, полую структуру с замкнутыми поверхностями невозможно изготовить в виде единой части, поскольку в этом случае излишки материала невозможно будет извлечь изнутри. Сложность удаления ненужного материала характерна для любой части с узкими перемычками, внутренними полостями с ограниченным доступом, слепыми отверстиями и т. п. Далее большая часть материала, расходуемая при ламинировании, идет не на саму деталь, а остается неиспользованной в рулоне или образует поддерживающие структуры, которые будут удалены после изготовления. Это может быть весьма расточительно, если применяются более дорогостоящие материалы, чем бумага.

Помимо преимуществ и недостатков процесс ламинирования имеет следующие характеристики:

Это субтрактивный, а не аддитивный процесс, т. е. для создания слоя с требуемым поперечным сечением материал удаляется, а не добавляется. Во всех прочих процессах БПИ слои образуются путем добавления материала. Таким образом, потенциально ламинирование является самой быстрой технологией изготовления деталей с большим отношением объема к площади поверхности.

Детали образуются перемежающимися слоями материала и клейкого вещества. Соответственно, многие из их физических свойств являются неоднородными и анизотропным.

Потенциальная точность процесса изготовления ламинированных объектов высока. В нем может использоваться сколь угодно тонкий листовой материал, что позволяет достичь хорошей разрешающей способности в направлении наращивания деталей. В действительности изготовить тонкий однородный листовой материал несложно, и усадка при ламинировании не представляет проблемы, поскольку контуры вырезаются после того, как происходит усадка.

Хотя процесс потенциально применим ко многим материалам, включая пластики, композиты и металлы, наиболее популярным на сегодняшний день является бумажное ламинирование.

Габариты изделия достигают размера 800 × 560 × 500 мм. Масса до 20 кг. Температура горячего валика – 70…400 °С. Сила прижатия валика до 180 кН. Толщина материала 0,076…0,2 мм.

Моделирование методом наплавления (*fused-deposition modeling* – FDM). В процессе наплавления коммерциализированной фирмой *Stratasys* каждый слой формируется путем выдавливания термопластичного материала, находящегося в жидком состоянии (рис. 4.6). Температура выдавливаемого материала незначительно превышает его температуру затвердевания (аналогичная ситуация при создании надписей на торте шоколадным кремом). Деталь изготавливается путем последовательного наплавления слоев. Этот процесс относительно прост, но его применение ограничено термопластичными материалами.

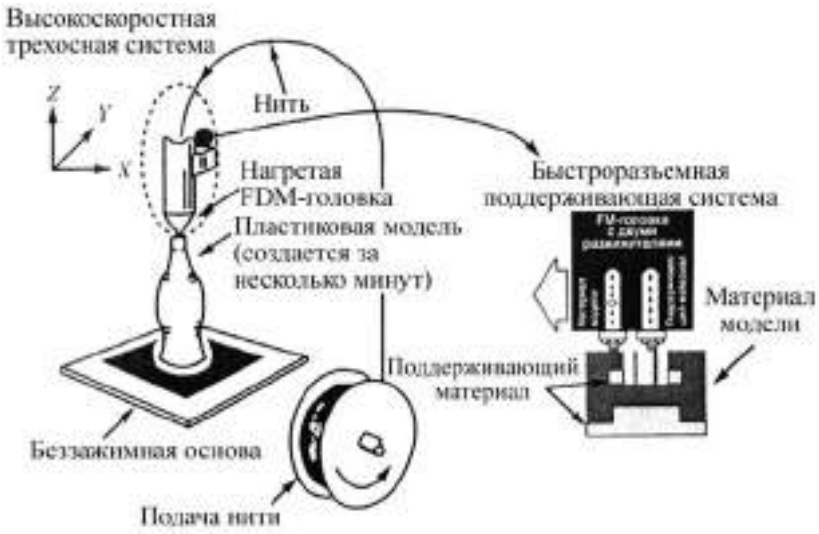


Рис. 4.6. Моделирование методом наплавления
(с разрешения Stratasys, Inc.)

Функции CAE-систем

CAE-системы наиболее эффективно используются на стадии анализа и оптимизации конструкций и технологических процессов.

Функции CAE-систем довольно разнообразны, так как связаны с проектными процедурами анализа, моделирования, оптимизации проектных решений. В состав машиностроительных CAE-систем прежде всего включают программы для выполнения следующих процедур:

– моделирование полей физических величин, в том числе анализ прочности, который чаще всего выполняется в соответствии с МКЭ;

– расчет состояний моделируемых объектов и переходных процессов в них средствами макроуровня;

– имитационное моделирование сложных производственных систем на основе моделей массового обслуживания и сетей Петри.

Основными частями программ анализа с помощью МКЭ являются библиотеки конечных элементов, препроцессор, решатель и постпроцессор.

Библиотеки конечных элементов содержат их модели – матрицы жесткости. Очевидно, что модели конечных элементов будут различными для разных задач (анализ упругих или пластических деформаций, моделирование полей температур, электрических потенциалов и т. п.), разных форм конечных элементов (например, в двумерном случае – треугольные или четырехугольные элементы), разных наборов координатных функций.

Исходные данные для препроцессора – геометрическая модель объекта, чаще всего получаемая из подсистемы конструирования. Основная функция препроцессора – представление исследуемой среды (детали) в сеточном виде, т. е. в виде множества конечных элементов.

Решатель – программа, которая ассемблирует (собирает) модели отдельных конечных элементов в общую систему алгебраических уравнений и решает эту систему одним из методов разреженных матриц.

Постпроцессор служит для визуализации результатов решений в удобной для пользователя форме. В машиностроительных САПР это графическая форма. Пользователь может видеть исходную (до нагружения) и деформированную формы детали, в которых палитра цветов или интенсивность свечения характеризуют значения фазовой переменной.

CAE-системы позволили создать новые методы визуализации результатов компьютерного моделирования отдельных прототипов и целых производств [9].

Дело в том, что прогресс автоматизированной разработки привнес новую парадигму в проектирование и анализ. Прежде всего, системы геометрического моделирования настолько продвинулись вперед за последнее десятилетие, что современные CAD-системы способны обрабатывать модели деталей и агрегатов самой сложной геометрии и конструкции. Агрегат можно отображать, оценивать и модифицировать как единое целое, а его движение имитировать так же, как это делается с физическим прототипом.

Еще одно достижение – это анализ по методу конечных элементов. Он мог бы стать средством виртуальной оценки надежности и технических характеристик продукта, если бы его вычислительную эффективность можно было улучшить до такой степени, чтобы выводить результаты в реальном времени. С его помощью можно было бы предсказывать механические свойства и характеристики (напряжения, прогиб, вибрация, температура, давление в сложных деталях) так, как если бы они измерялись посредством различных экспериментов.

Более того, производители CAD-систем в настоящий момент пытаются объединить геометрическое моделирование с методом конечных элементов. Такая интеграция обеспечила бы непрерывное течение цикла проектирования и анализа. Метод конечных элементов использовался бы изначально в процессе проектирования для принятия конструкторских решений, что позволило бы сэкономить время и затраты, связанные с перепроектированием.

Все эти тенденции привели к возникновению новой инженерной дисциплины – *виртуальная инженерия* (*virtual engineering*).

Виртуальная инженерия – это имитационный метод, помогающий инженерам в принятии решений и управлении. Виртуальная среда представляет собой вычислительную структуру, позволяющую точно имитировать геометрические и физические свойства реальных систем. Виртуальная инженерия включает в себя имитацию различных видов инженерной деятельности, таких, как машинная обработка, сборка, управление производственными линиями, осмотр и оценка, а также процесс проектирования.

Таким образом, виртуальная инженерия может охватывать весь цикл разработки и производства продукта. После того как смоделирована деталь, имитируется ее машинная обработка и сборка. Затем, также с помощью имитации, собранный прототип тестируется, и в его конструкцию вносятся необходимые изменения. Когда прототип одобрен, имитируется производственная система и ее функционирование. Прогнозируется также себестоимость и график поставок. В результате этих имитаций

получается оптимизированный конечный прототип и производственные процедуры, на основе которых затем реализуется физическая система.

Виртуальная инженерия дает совершенно новый подход к инженерным задачам. Использование имитации устранит необходимость в дорогостоящих физических прототипах и физических экспериментах. Время разработки коренным образом сократится, появится возможность проверить большее количество альтернативных вариантов конструкции, повысится качество конечного продукта. Виртуальная инженерия обеспечит также превосходный интерфейс для клиента, позволяя ему заранее увидеть трехмерную модель продукта и запросить конструктивные изменения. Можно будет построить прототип продукта, который недоступен, слишком опасен или слишком дорог для того, чтобы создавать его в реальности. Такая возможность будет неоценима в автомобильной и авиационной промышленности, где физические макеты стоят дорого, время разработки велико, продукты крайне сложны и требуется глубокая обратная связь от клиентов.

Основными компонентами виртуальной инженерии являются: *виртуальное проектирование, цифровая имитация, виртуальное прототипирование* и *виртуальный завод*. Виртуальное проектирование выполняется с помощью устройств виртуальной реальности. Цифровая имитация позволяет проверять и оценивать работу продукта без использования физических прототипов. В процессе виртуального прототипирования строится компьютерный прототип, имеющий ту же геометрию и физическое поведение, что и реальный продукт. Виртуальный завод – это имитация заводской производственной линии. Ниже следует описание каждой из этих составляющих.

Виртуальное проектирование выполняется в виртуальной среде с использованием технологий виртуальной реальности. Виртуальное проектирование сосредоточивается на альтернативном пользовательском интерфейсе для процесса проектирования. Используя технологии виртуальной реальности, конструкторы могут погрузиться в виртуальную среду, создавать компоненты, модифицировать их, управлять различными

устройствами и взаимодействовать с виртуальными объектами в процессе конструкторской деятельности. Конструкторы могут видеть стереоскопическое изображение виртуальных объектов и слышать пространственный реалистичный звук. Эти изображения и звук возникают, когда рука конструктора движет виртуальной рукой и пальцем. Прикосновение к виртуальному объекту ощущается конструктором в виде обратной связи. Тем самым замысел конструктора эффективно воплощается в проекте и проверяется функциональное поведение конструкции.

Основная цель виртуального проектирования – позволить конструктору действовать интуитивным и естественным образом. В системах геометрического моделирования, даже при том что современные CAD-системы предоставляют изощренные средства моделирования, взаимодействие конструктора с моделью небезгранично. Возможности обзора ограничиваются изображением, спроектированным на монитор, а возможности ввода информации от конструктора – точечными манипуляциями с мышью.

Таким образом, в рамках CAD-технологии сегодняшнего дня конструктор является «одноглазым и однопалым». Более естественное взаимодействие, обеспечиваемое технологиями виртуальной реальности, дало бы конструктору большую свободу и позволило бы ему повысить креативность при создании модели. Вторая цель виртуального проектирования – на ранних стадиях проектирования учесть точку зрения потенциального пользователя продукции.

В процессе проектирования могут быть в полной мере оценены такие качества, как доступность и управляемость. Третья цель – учесть при проектировании опыт экспертов в сборке или манипулировании деталями. Этот опыт сложен и трудно формализуем, но система виртуального проектирования может пролить свет на положение пользователя, его взаимодействие с объектами и последовательность операций сборки.

Виртуальное проектирование потребует совершенно иного подхода к моделированию трехмерной геометрии. Например, меню и кнопки можно заменить технологией распознавания речи

или жестов. Если конструктор захочет изменить размеры модели, то, вместо того чтобы указать на нее, конструктор сможет взять ее в руки и растянуть. В связи с процессом виртуального проектирования непременно возникнут новые методы проектирования и схемы моделирования.

Цифровая имитация используется для проверки процессов, так как машинные операции необходимо тщательно проверить, прежде чем начинать реальную работу. Если в управляющем коде имеется ошибка, это может привести к серьезной поломке станка. Используя цифровую имитацию, пользователь перед началом работы имеет возможность проверить траекторию перемещения инструмента станка с ЧПУ, щупа координатно-измерительной машины или руки робота. Например, процессом машинной обработки можно управлять графически, как если бы это делалось на реальном станке: виртуальный станок с ЧПУ, читая стандартные инструкции, будет выполнять всю обработку в реальном времени, включая перемещение инструментов, принадлежностей, укладчиков и деталей. Непрерывный контроль за снятием материала позволяет пользователю выявлять ситуации, приводящие к вибрации и поломке инструмента, появлению выбоин и зарубок. С помощью имитации пользователь может также спрогнозировать столкновения между инструментом и приспособлением или деталью.

Визуализация также помогает инженерам лучше понять систему. Она позволяет легко уяснить идею конструкции и заранее проверить ее эксплуатационные качества. В настоящее время для этой цели используется главным образом кинематическая имитация твердых тел. Имитация моделей более высокого уровня – жидкостей, человеческих существ и сложных сред – требует моделирования физических эффектов, включая эффекты динамики, вибрации, акустики и деформации. Однако сложные имитации с использованием виртуальных прототипов могут осуществить проверку рабочих характеристик системы быстрее и с меньшими затратами.

Виртуальным прототипированием (*virtual prototyping*) называют построение прототипа агрегата из геометрических моделей его отдельных частей. Виртуальный прототип называют

иногда *цифровым макетом* (*digital mockup*) или *предварительной цифровой сборкой* (*digital preassembly*). Системы цифрового прототипирования позволяют визуализировать процесс сборки и проверять осуществимость предлагаемых агрегатов в рамках имеющихся производственных ограничений. Путем сборки виртуального прототипа можно выявить конструктивные просчеты и внести изменения в проект, чтобы реальную сборку можно было выполнить с первой попытки.

Основная функция виртуального прототипирования заключается в том, чтобы установить, осуществима ли операция сборки. Система проверяет сопряжение деталей в контексте сборочных ограничений и требований к допускам. Функции обнаружения столкновений указывают на мешающие друг другу детали. Проверяется также последовательность сборки и траектории движения деталей. Кроме того, можно определить оптимальные траектории сборки. Передовые системы позволяют также проводить структурный и функциональный анализ виртуального прототипа, используя встроенное аналитическое программное обеспечение. Часто выполняется кинематическая и динамическая имитация прототипа.

Инженеры смогут основывать конструкторские решения на виртуальных прототипах. Оптимизация конструкции будет достигаться путем последовательного уточнения виртуального прототипа. С увеличением степени детальности виртуального прототипирования станет возможной более точная структурная и функциональная имитация. Идеальной ситуация станет тогда, когда виртуальный прототип будет иметь всю совокупность характеристик физического прототипа. Таким образом, со временем виртуальное прототипирование устранит необходимость в дорогих и трудоемких физических прототипах.

Виртуальный завод (*virtual factory*) – это смоделированная на компьютере полная производственная система. Виртуальный завод имитирует конструкции производственных участков, производственные процессы и складские системы. Кроме того, для него можно программировать автоматизированное заводское оборудование – роботы, конвейеры и станки.

Система моделирует и имитирует такие компоненты, как конвейеры, накопители, доки, производственные участки и процессы. Кроме того, система моделирует процедуры – маршруты, последовательности и слияния. После этого модель производства анализируется в терминах затрат на рабочую силу, инвентаризации, эксплуатационных расходов, затрат на обработку и длительностей цикла.

Такие возможности позволяют использовать виртуальный завод для планирования производства, включая оценку проектов производственных систем и сравнение альтернативных способов производства. Когда эта технология достигнет зрелости, с помощью виртуального завода можно будет сымитировать всю цепочку поставок, что позволит оценивать и оптимизировать весь процесс управления ресурсами и производством.

Итак, методы виртуальной инженерии предлагают совершенно новый подход к процессу проектирования, который позволяет оценить возможность производства различных вариантов конструкции (включая оценку качества сборки или эксплуатационную характеристику продукта) и оптимизировать производственный процесс (методом цифровой имитации), легко настроить продукт под требования заказчика, эффективно накопить обширную базу знаний, обеспечить основу для коллективной разработки проектов.

Рассмотрим аппаратуру, которая используется виртуальной инженерией. Виртуальная инженерия – чисто программная технология, и поэтому сама по себе не требует какого-либо специального оборудования. Однако для взаимодействия с пользователем необходимо оборудование виртуальной реальности. Это оборудование включает в себя устройства как ввода, так и вывода. Устройства вывода дают пользователю ощущения от виртуальной среды. Поскольку самый эффективный способ сенсорного восприятия – это зрение, главными компонентами систем виртуальной реальности являются устройства отображения. Эти устройства должны обеспечивать пользователю стереоскопический обзор.

Доступное в настоящий момент оборудование включает в себя головные дисплеи, бинокулярные всенаправленные мониторы,

дисплеи пространственного погружения и специальные очки. Звук и осязание обогащают ощущения от виртуальной реальности, когда они используются в совокупности со зрительной системой. Типичным примером звуковой аппаратуры могут служить наушники с пространственно расширенной звуковой системой. Аппаратура осязания – это приборы с силовой обратной связью. Популярными устройствами ввода являются системы распознавания речи, следящие системы и информационные перчатки.

Головные дисплеи. Головной дисплей – это устройство отображения с полным погружением. Шлем полностью закрывает глаза и позволяет смотреть только прямо перед собой. Небольшой экран, смонтированный перед глазом пользователя, дает стереоскопическое изображение. Прибор имеет встроенную следящую систему, благодаря которой изображение на дисплее меняется при изменении положения и ориентации головы пользователя. В настоящее время доступно более 40 моделей головных дисплеев. Среди них можно упомянуть FOHMD от CAE-Electronics и Looking Glass от Polhemus Lab.

Бинокулярные всенаправленные мониторы. Бинокулярный всенаправленный монитор – это механическая версия головного дисплея. Он состоит из дисплейной коробки, которая сбалансирована по весу на многозвенной стреле. Пользователь смотрит на дисплей, а движение его головы отслеживается через систему механических звеньев. Основным преимуществом бинокулярных всенаправленных мониторов перед головными дисплеями является быстрое и точное слежение. В продаже имеются бинокулярные всенаправленные мониторы *BOOM-2C* от *Fake Space Labs* (http://www.fakespace.com) и *Cyberface3* от LEEP.

Дисплеи пространственного погружения. В дисплеях пространственного погружения используется панорамный видеоэкран, окружающий пользователя, так что пользователь чувствует себя погруженным в виртуальную среду. Дисплеи пространственного погружения обеспечивают большое поле зрения и свободу передвижения в виртуальной среде. В университете штата Иллинойс (Чикаго) разработана четырехстенная система пространственного погружения *CAVE*. Приобрести систему

CAVE можно через фирму *Pyramid System*. Существуют большие куполообразные дисплеи пространственного погружения, такие как *Visionarium Graphics*, имеющий 8 м в диаметре. Фирма *Spitz Electrihorizen* построила дисплей пространственного погружения диаметром 8,5 м.

Шторные очки. Шторные очки – это недорогое устройство отображения. Пользователь надевает устройство, напоминающее очки, которое попеременно закрывает обзор то одному, то другому глазу. Монитор или другое устройство отображения, синхронизированное с очками, имеет в два раза большую частоту обновления и попеременно показывает картинку для левого и для правого глаза. В результате на экране монитора пользователь видит стереоскопическое изображение. Данное устройство может использоваться вместе с выпускаемыми в настоящий момент дисплеями, поэтому оно экономически выгодно. Однако оно не обеспечивает достаточного погружения для того, чтобы пользователь увидел реальную среду, так как поле зрения ограничено размерами монитора. В продаже имеются шторные очки *Crystal Eyes* от *Stereographics* и *SGS* от *Tektronicx*.

Устройства осязания. Устройство осязания дает ощущение физического прикосновения. Такое устройство позволяет пользователям почувствовать реальный объект через систему силовой обратной связи, создающую иллюзию работы с реальным материалом. Примером устройства осязания является джойстик с силовой обратной связью, через который пользователь ощущает силу реакции на рабочей руке. В продаже имеются джойстики *Haptic Mater* от *Nissho Electronics* и *BSP Joystick* от *AEA Technologies*.

Прибор *Phantom* фирмы *SensAble Technology* – это устройство осязания на базе карандаша, имеющее шесть степеней свободы. Более передовым типом устройства осязания является экзоскелет – сложная система механических звеньев, окружающая всю руку так, что каждый палец и сустав независимо получают силовую обратную связь. Он объединяет в себе информационную перчатку и устройство осязания. Примерами экзескелетов являются *The Exoskeletal Hand Master* от *Sarcos* и *Force ArmMaster* от *Exos*.

Следящие системы. Следящие устройства используют электромагнитную, ультразвуковую, оптическую или механическую систему для определения положения и ориентации отслеживаемого объекта. Следящее устройство может быть встроено в головной дисплей для отслеживания направления взгляда и положения головы или в информационную перчатку – для отслеживания положения руки. Следящее устройство можно также прикрепить на любую часть тела. В продаже имеются такие следящие системы, как *Flock of Birds* от *Ascension* и *ISOTRAK II* от *Polhemus* (http://www/polhemus.com).

Типичным примером следящих устройств с использованием ультразвуковой технологии могут служить *Head-tracker* от *Logitech* (http://www.logitech.com) и *GAMS* от *Transition State Corporation*. Механичекая система используется в устройствах *GyroEngine* от *Gyration*, *ADL-1* от *Shooting Star Technology* и *Wrightrack* от *Vidtronics*. Наконец, к устройствам с использованием оптической технологии относятся *GRD-1010* от *GEC Ferranti*, *DynaSight* от *Origin Instruments* и *RtPM* от *Spatial Positioning Systems*.

Информационные перчатки. Информационная перчатка имеет на каждом суставе пальцев руки датчики, измеряющие изгиб пальца. Положение руки в целом определяется следящей системой, прикрепленной к перчатке. Обычно информация, получаемая с перчатки, преобразуется в виртуальной среде снова в изображение, форма и положение которого динамически изменяются, следуя за движениями руки пользователя. В продаже имеются информационные перчатки *Dexterous Hand master* от *Exos*, *CyberGlove GG1801* от *Virex* и *DataGlove* от *Greenleaf Medical Systems*.

Примеры промышленного применения виртуальной инженерии

Самолет Boeing 777. Boeing 777 – это первый коммерческий самолет, успешно спроектированный безбумажным методом. Для разработки модели 777 корпорация *Boeing* организовала 238 межфункциональных групп проектирования и изготовления,

ответственных за конкретные продукты. Компания *Boeing* использовала CAD-систему *CATIA* от *Dassault/IBM* и разработала собственную систему предварительной компьютерной сборки *EPIC* (*Electronic Preassembly in Computer*). Перед сборкой первого самолета не было изготовлено ни одного физического прототипа, кроме макета носовой части (для проверки критической проводки). Виртуальное прототипирование позволило компании *Boeing* вовлечь в процесс проектирования самолета заказчиков и операторов (до линейных механиков). Виртуальное прототипирование было настолько успешным, что несоосность при монтаже левого крыла составила всего 0,03 мм.

Виртуальный прототип локомотивного двигателя фирмы GM. Подразделение *Electro-Motive* фирмы *General Motors* разработало локомотивный двигатель *GM16V265H* мощностью 6 300 л. с. путем так называемой «виртуальной разработки продукта» в сотрудничестве с *Unigraphics Solutions*. Все детали были представлены в виде трехмерных моделей, и последующий анализ, оптимизация конструкции и программирование станков с ЧПУ и приспособлений проводились для этих моделей. Моделирование позволило обеспечить поставку продукта в сжатые сроки: первый двигатель был построен через 18 месяцев после начала программы, в то время как обычно подобный процесс занимает более 36 месяцев. Это позволило также гораздо быстрее провести тесты надежности, что дало GM возможность удовлетворить более жесткие требования к надежности.

Дизайн интерьера салона автомобиля фирмы Chrysler. Дизайн интерьера салона автомобиля *Dodge Durango* 1998 г. был разработан методом виртуального проектирования. Член дизайнерской группы сидит в упрощенном макете салона автомобиля, состоящем только из сиденья, руля и педалей. Дизайнер, на котором надеты головной дисплей системы виртуальной реальности, информационные перчатки и датчики движений, рассматривает виртуальный прототип интерьера автомобиля (приборная доска, органы управления радиоприемника, бардачок и окна) и взаимодействует с ним. Виртуальный прототип позволяет легко вносить изменения в дизайн и оценивать обзор, доступность и эстетику.

Этот метод дает возможность быстро проверять различные варианты дизайна.

Поезд Metrocar 2000 в Стокгольме. *Metrocar* 2000 – это новая система общественного транспорта в Стокгольме, разработанная компанией *Adtranz Sweden*. Используя программу *dVISE* от *Division*, *Adtranz* сконструировала виртуальные прототипы поездов, включая полностью оснащенные интерьеры с текстурными сидениями, полами, рекламными плакатами и индикаторной панелью машиниста. Глядя на виртуальный прототип, зрители могут получить представление о масштабе, пространственных отношениях и эстетике дизайна. Это позволяет заказчику и инженеру на ранних стадиях проектирования знакомиться с дизайном продукта и вносить в него изменения.

Проектирование кораблей для Королевского военно-морского флота Великобритании. Морской директорат перспективных проектов Великобритании внедрил виртуальное проектирование в рамках своей новой программы разработки кораблей. С помощью программы *ENVISION* от *Deneb Robotics* методом имитации в интерактивном режиме был разработан квартердек для нового корабля. Имитация включала движение корабля (с шестью степенями свободы) и его влияние на работающее оборудование, людей на борту и условия освещения в каютах. Это моделирование позволило инженерам оценить проект и внести в него необходимые изменения.

В заключение отметим, что виртуальная инженерия – зарождающаяся технология. Она обладает достаточным потенциалом для того, чтобы стать значительной составляющей деятельности инженера, однако на сегодняшний день функциональность и возможности применения систем виртуальной инженерии ограничены. Чтобы виртуальная инженерия превратилась в развитую технологию, необходимо получить возможность полностью отразить функциональное поведение физических систем посредством компьютерной имитации. Обсудим некоторые связанные с этим проблемы.

Новые средства проектирования. Виртуальное проектирование представляет принципиальное иную среду для разработки.

В ней зрение является стереоскопическим, а взаимодействие с моделью конструкции осуществляется с помощью нескольких органов чувств. Эта новая среда открывает возможности для появления новых методов проектирования и подходов к моделированию. В ближайшем будущем конструктор будет иметь возможность взять объект в руки и растянуть его или создать и изменить модель с помощью одного только голоса. Новый подход к моделированию обеспечит более естественные и интуитивные способы создания моделей.

Моделирование процессов и физических объектов. В настоящее время возможности имитации сводятся главным образом к кинематике. Моделирование динамических, деформируемых и жидких систем обычно требует анализа методом конечных элементов, отнимающего большое количество вычислительных ресурсов. Чтобы это имело какую-то ценность в качестве средства виртуального проектирования, данный анализ необходимо производить в реальном времени, а чтобы стала возможной имитация в реальном времени, необходимо компактное и точное моделирование. Более того, модели должны содержать в себе информацию о своих физических свойствах и экспериментальные данные, демонстрирующие их физическое поведение.

Мера возможности производства. Производственные процессы различны, каждый имеет свои собственные уникальные характеристики. Таким образом, найти какую-то общую методику, определяющую возможности производства различных продуктов, представляется трудной задачей. Необходимы исследования определений возможности производства и методологии ее оценки. Помимо простого решения типа «да/нет» необходимо определить количественную меру возможности производства. Кроме того, оценку возможности производства необходимо трансформировать в оценку продолжительности производственных процессов и затрат.

Быстродействие системы. В настоящий момент качество визуализации и имитации сильно ограничивается недостаточным быстродействием системы. Благодаря экспоненциальному росту скорости обработки и прогрессу технологии распределенных

вычислений качество имитации улучшается. Однако быстродействие системы остается все еще слишком низким для полноценного виртуального проектирования. Для визуализации требуется детализированное трехмерное отображение и анимация с высокой частотой кадров. Оценка проекта включает в себя анализ динамических систем и оптимизации, требующих больших вычислительных ресурсов. Кроме того, для обеспечения коллективной разработки необходимо повысить скорость работы сетей, расширить полосу пропускания и увеличить число каналов.

Стандарт интерфейса данных. Виртуальное проектирование включает в себя взаимодействие различных пакетов прикладных программ. Моделирование детали обычно производится в CAD-системе, анализ – в программе анализа по методу конечных элементов, а компьютерная имитация – в интерактивной системе имитации производства. Для коллективной разработки необходимо, чтобы эти различные системы работали вместе. Стандартные интерфейсы баз данных и программного обеспечения являются ключом к виртуальному проектированию.

Открытая архитектура. Открытая архитектура придает системе масштабируемость. Системы виртуального проектирования необходимо объединять с имеющимися в настоящий момент инженерными системами для получения дополнительной функциональности или решения разнотипных задач. Открытая архитектура позволяет системе задействовать большой резерв инженерных ресурсов и находить разнообразные формы применения.

4.2. Структура и разновидности систем автоматизированного проектирования

Как и любая сложная система, САПР состоит из подсистем. Различают подсистемы проектирующие и обслуживающие.

Проектирующие подсистемы непосредственно выполняют проектные процедуры. Примерами проектирующих подсистем могут служить подсистемы геометрического трехмерного

моделирования механических объектов, изготовления конструкторской документации, схемотехнического анализа, трассировки соединений в печатных платах.

Обслуживающие подсистемы обеспечивают функционирование проектирующих подсистем, их совокупность часто называют системной средой (или оболочкой) САПР. Типичными обслуживающими подсистемами являются подсистемы управления проектными данными, подсистемы разработки и сопровождения программного обеспечения *CASE (Computer Aided Software Engineering),* обучающие подсистемы для освоения пользователями технологий, реализованных в САПР.

Структурирование САПР по различным аспектам обусловливает появление *видов обеспечения* САПР. Принято выделять семь видов обеспечения САПР:

– *техническое (ТО),* включающее различные аппаратные средства (ЭВМ, периферийные устройства, сетевое коммутационное оборудование, линии связи, измерительные средства);

– *математическое (МО),* объединяющее математические методы, модели и алгоритмы для выполнения проектирования;

– *программное*, представляемое компьютерными программами САПР;

– *информационное*, состоящее из базы данных, СУБД, а также включающее другие данные, используемые при проектировании (отметим, что вся совокупность используемых при проектировании данных называется информационным фондом САПР, а база данных вместе с СУБД носит название банка данных);

– *лингвистическое*, выражаемое языками общения между проектировщиками и ЭВМ, языками программирования и языками обмена данными между техническими средствами САПР;

– *методическое*, включающее различные методики проектирования; иногда к нему относят также математическое обеспечение;

– *организационное*, представляемое штатными расписаниями, должностными инструкциями и другими документами, регламентирующими работу проектного предприятия.

Классификацию САПР осуществляют по ряду признаков, например по приложению, целевому назначению, масштабам

(комплексности решаемых задач), характеру базовой подсистемы – ядра САПР.

По приложениям наиболее представительными и широко используемыми являются следующие группы САПР:

1. САПР для применения в отраслях общего машиностроения. Их часто называют машиностроительными САПР или системами *MCAD (Mechanical CAD).*

2. САПР для радиоэлектроники: системы *ECAD (Electronic CAD)* или *EDA (Electronic Design Automation).*

3. САПР в области архитектуры и строительства.

Кроме того, известно большое число специализированных САПР или выделяемых в указанных группах, или представляющих самостоятельную ветвь в классификации. Примерами таких систем являются САПР больших интегральных схем (БИС), САПР летательных аппаратов, САПР электрических машин и т. п.

По целевому назначению различают САПР, обеспечивающие разные аспекты (страты) проектирования. Так, в составе MCAD появляются рассмотренные выше CAE/CAD/CAM-системы.

По масштабам различают отдельные программно-методические комплексы (ПМК) САПР, например: комплекс анализа прочности механических изделий в соответствии с методом конечных элементов (МКЭ) или комплекс анализа электронных схем; системы ПМК; системы с уникальными архитектурами не только программного (*software*), но и технического (*hardware*) обеспечения.

По характеру базовой подсистемы различают следующие разновидности САПР:

1. САПР на базе подсистемы машинной графики и геометрического моделирования. Эти САПР ориентированы на приложения, где основной процедурой проектирования является конструирование, т. е. определение пространственных форм и взаимного расположения объектов. К этой группе систем относится большинство САПР в области машиностроения, построенных на базе графических ядер.

В настоящее время широко используются унифицированные графические ядра, применяемые более чем в одной САПР (ядра *Parasolid* фирмы *EDS Unigrafics* и *ACIS* фирмы *Integraph*).

2. САПР на базе СУБД. Они ориентированы на приложения, в которых при сравнительно несложных математических расчетах прорабатывается большой объем данных. Такие САПР преимущественно встречаются в технико-экономических приложениях, например при проектировании бизнес-планов, но они имеются также при проектировании объектов, подобных щитам управления в системах автоматики.

3. САПР на базе конкретного прикладного пакета. Фактически это автономно используемые ПМК, например имитационного моделирования производственных процессов, расчета прочности по МКЭ, синтеза и анализа систем автоматического управления и т. п. Часто такие САПР относятся к системам CAE. Примерами могут служить программы логического проектирования на базе языка VHDL, математические пакеты типа MathCAD.

4. Комплексные (интегрированные) САПР, состоящие из совокупности подсистем предыдущих видов. Характерными примерами комплексных САПР являются CAE/CAD/CAM-системы в машиностроении или САПР БИС. Так, САПР БИС включает в себя СУБД и подсистемы проектирования компонентов, принципиальных, логических и функциональных схем, топологии кристаллов, тестов для проверки годности изделий. Для управления столь сложными системами применяются специализированные *системные среды*.

4.3. Программные системы проектирования (примеры программ) [3]

К числу мировых лидеров в области CAD/CAM/CAE-систем верхнего уровня относятся системы *Unigrafics* (компания *EDS*), *CATIA* (*Dessault Systems*), *Pro/Engineer* (*PTC*). Продолжают использоваться также системы *I-DEAS* (*EDS*), *CADDS5* (*PTC*) и *EUCLID3* (*Matra Datavision*).

Вначале рассмотрим структуру ПО САПР и его функциональные возможности на примере комплекса программ *Pro/Engineer*.

Комплекс насчитывает несколько десятков программ (модулей), которые подразделены на группы программ конструкторского проектирования механических объектов, промышленного дизайна, функционального моделирования, технологического проектирования, обмена данными.

Базовые модули конструкторского проектирования (подсистема CAD) предназначены для твердотельного и поверхностного моделирования, синтеза конструкций из базовых элементов формы (БЭФ), поддержки параметризации и ассоциативности, проекционного черчения и разработки чертежей с простановкой размеров и допусков. Пользователь может пополнять библиотеку БЭФ оригинальными моделями. Синтез трехмерных модулей сложной формы возможен вытягиванием плоского контура по нормали к его плоскости, его протягиванием вдоль произвольной пространственной кривой, вращением контура вокруг заданной оси, натягиванием между несколькими заданными сечениями. Синтез сборок выполняется вызовом или ссылкой на библиотечные элементы, их модификацией, разработкой новых деталей. Детали сборки можно нужным образом ориентировать в пространстве. Далее следует ввести ассоциативные (сопрягающие) связи. Дополнительные модели конструкторского проектирования имеют более конкретную, но узкую специализацию. Примерами таких модулей могут служить модули конструирования панелей из композиционных материалов, разработки штампов и литейных пресс-форм, трубопроводных систем, сварных конструкций, разводки электрических кабелей и жгутов.

Модули функционального моделирования (подсистема CAE) используются как препроцессоры и постпроцессоры в программах конечно-элементного анализа (нанесение сетки конечных элементов, визуализация результатов анализа), для анализа теплового состояния конструкций, оценки виброустойчивости и др.

Основные модули технологического проектирования (подсистема CAM) служат для моделирования технологических процессов фрезерной, токарной, электроэрозионной обработки и для разработки постпроцессоров для систем управления оборудованием с ЧПУ.

Модули обмена данными (конверторы форматов данных) должны обеспечивать возможности импорта и экспорта данных в другие CAE/CAD/CAM-системы.

Система Unigraphics – универсальная система геометрического моделирования и конструкторско-технологического проектирования, в том числе разработки больших сборок, прочностных расчетов и подготовки конструкторской документации. Система многомодульная.

В конструкторской части (подсистема CAD) имеются средства для твердотельного конструирования, геометрического моделирования на основе сплайновых моделей поверхностей, создания чертежей по 3*D*-модели, проектирования сборок (в том числе с сотнями и тысячами компонентов) с учетом ассоциативности, анализа допусков и др.

В технологической части (подсистема CAM) предусмотрены разработка управляющих программ для токарной и электроэрозионной обработки, синтез и анализ траекторий инструмента при фрезерной трех- и пятикоординатной обработке, при проектировании пресс-форм, штампов и др. Для инженерного анализа (подсистема CAE) в систему включены модели прочностного анализа с использованием МКЭ с соответствующими пре- и постпроцессорами, кинематического и динамического анализа механизмов с определением сил, скоростей и ускорений, анализа процессов литья пластических масс.

Другая система верхнего уровня CATIA позволяет заказчику генерировать собственный вариант САПР сквозного проектирования – от создания концепции изделия до технологической поддержки производства и планирования производственных ресурсов. В системе реализовано поверхностное и твердотельное 3*D*-моделирование и оптимизация характеристик изделий. Возможны фотореалистичная визуализация, восстановление математической модели из материального макета. Система масштабируема. Предлагаются типовые конфигурации, в том числе варианты для полнофункционального сквозного проектирования сложных изделий и проектирования комплектующих на небольших и средних предприятиях. Аналогичные возможности реализованы и в других тяжелых САПР.

Значительно дешевле обходится приобретение САПР среднего уровня. В России получили распространение системы компаний *Autodesk, Solid Works Corporation, Топ Системы, Аскон, Интермех, Bee-Pitron* и некоторых других. Все эти системы ориентированы в первую очередь на платформу *Wintel*, как правило, имеют подсистемы: конструкторско-чертежную 2*D*, твердотельного 3*D*-моделирования, технологического проектирования, управления проектными данными, ряд подсистем инженерного анализа и расчета отдельных видов машиностроительных изделий, а также библиотеки типовых конструктивных решений. Широкое распространение в России и за рубежом получило ПО машиностроительных САПР компании *Autodesk*.

Линия современных программных систем конструкторского проектирования фирмы *Autodesk* включает ряд систем, среди которых наиболее развитыми следует считать системы *AutoCAD, Mechanical Desktop* и *Inventor*.

Система *Mechanical Desktop (MDT)* предназначена для параметрического 3*D*-моделирования, ассоциативного конструирования, распределенного проектирования в сети Интернет, оформления 2*D*-документации. Построена на графическом ядре *ACIS*. *Имеется управляющая программа CAD-менеджер со средствами настройки, конфигурирования и управления рабочими группами.*

Система *Inventor* предназначена для твердотельного параметрического проектирования, ориентирована на разработку больших сборок с сотнями и тысячами деталей, имеет развитую библиотеку стандартных элементов. В основе системы также лежит графическое ядро *ACIS*. Построение 3*D*-моделей возможно выдавливанием, вращением, по сечениям, по траекториям. Из 3*D*-модели можно получить 2*D*-чертежи и спецификации материалов. Поддерживается коллективная работа над проектом, в том числе в пределах одной и той же сборки. Предусмотрена автоматическая проверка кинематики, размеров детали с учетом положения соседних деталей в сборке. *Значительные удобства работы конструкторов обусловлены тем, что ассоциативные связи задаются не путем описания операций с параметрами и уравнений, а непосредственно определением формы и положения компонентов*.

В число продуктов *Autodesk* входит ряд других программ автоматизированного проектирования, в том числе *Autodesk Data Exchange* – набор конверторов для взаимного преобразования данных из форматов *DXF* и *SAT* (формат ядра *ACIS*) в такие форматы, как *STEP, IGES, VDA-FS*.

Ряд продуктов, интегрированных с программами проектирования компании *Autodesk*, создан компаниями, входящими в ассоциацию *Mechanical Applications Initiative* производителей прикладного ПО. Среди них следует отметить программу *Dynamic Designer Motion* (компания *Mechanical Dynamic*), предназначенную для расчетов динамики и кинематики механизмов (в том числе трехмерных). Элементами являются модели шарниров, пружин, сухого трения, ударных нагрузок.

Программа *Dynamic Designer Motion* имеет связи с группой программ конечно-элементного анализа *Cosmos*. Например, можно использовать программу *Cosmos/DesignSTAR* как автономно, так и в связке с программами *Inventor Solid Edge*, а программу *Cosmos/Works* – с программой *Solid Works*. С помощью этих программ проводят анализ деформированного состояния деталей, стационарных и нестационарных тепловых процессов, динамики жидкостей и газов, низкочастотных электромагнитных полей, определяют собственные частоты колебания конструкций.

Система твердотельного параметрического моделирования механических конструкций *Solid Works* (компания *Solid Works Corporation*) построена на графическом ядре *Parasolid*, разработанном в *Unigfaphics Solution*. Синтез конструкции начинается с построения опорного тела с помощью операций типа выдавливания, протягивания или вращения контура с последующим добавлением и (или) вычитанием тех или иных тел. Используется технология граничного моделирования (*B-representation*) с аналитическим или сплайновым описанием поверхностей. При проектировании сборок на основе БЭФ можно задавать различные условия взаимного расположения деталей, автоматически контролировать зазоры и отсутствие взаимопересечения деталей. Предусмотрены *IGES, DXF, DWG*-интерфейсы с другими системами.

Среди САПР среднего уровня наряду с продуктами зарубежных фирм неплохо зарекомендовали себя системы отечественных разработчиков – это, прежде всего, системы *Компас* (компания *Аскон*) и *T-Flex CAD* (*Топ Системы*).

В системе *Компас* для трехмерного твердотельного моделирования используется оригинальное графическое ядро. Синтез конструкций выполняется с помощью булевых операций над объемными примитивами, модели деталей формируются путем выдавливания или вращения контуров, построением по заданным сечениям. Возможно задание зависимостей между параметрами конструкции, расчет масс-инерционных характеристик. Разработка проектно-конструкторской документации, в том числе различных спецификаций, выполняется подсистемой *Компас-График*.

Имеются библиотеки с данными о типовых деталях и с графическими изображениями, а также программы специального назначения (проектирование тел вращения, пружин, металлоконструкций, трубопроводной арматуры, штамповой оснастки, выбора подшипников качения, раскроя листового материала и др.). Проектирование технологических процессов выполняется с помощью подсистемы *Компас-Автопроект*, программирование объемной обработки на станках с ЧПУ – с помощью подсистемы *ГЕММА-3D*. Ряд необходимых функций управления проектными данными возложено на подсистему *Компас-Менеджер*.

Подсистема трехмерного твердотельного моделирования *T-Flex CAD* 3*D* в САПР *T-Flex CAD* построена на базе ядра *Parasolid*. Реализована двунаправленная ассоциативность, т. е. изменение параметров чертежа автоматически вызывает изменение параметров модели, и наоборот. При проектировании сборок изменение размеров или положения одной детали ведет к корректировке положения других. Модель 3*D* может быть получена непосредственно по имеющемуся чертежу, или с помощью булевых операций, или путем выталкивания, протягивания, вращения профиля, лофтинга и т. п. Предусмотрен расчет масс-инерционных параметров.

В то же время можно по видам и разрезам трехмерной модели получить чертеж, для чего используется подсистема *T-Flex CAD*

3D SE. Для параметрического проектирования и оформления конструкторско-технологической документации служит подсистема *T-Flex CAD 2D*, для управления проектами и документооборотом – подсистема *T-Flex DOCs*. В подсистеме технологического проектирования *T-Flex/ТехноПро* выполняются синтез технологических процессов, расчет технологических размеров, выбор режущего и вспомогательного инструмента, формирование технологической документации, в том числе операционных и маршрутных технологических карт, ведомостей оснастки и материалов, карт контроля. Подготовка программ для станков с ЧПУ осуществляется в подсистеме *T-FlexЧПУ*. Кроме названных основных подсистем в состав *T-Flex CAD* включен ряд программ для инженерных расчетов деталей, проектирования штампов и пресс-форм.

В САПР *Cadmech 2000* белорусской компании *Интермех* входят программы *AVS* для выпуска конструкторской документации, *Techcard* для технологической подготовки производства, *LCAD* для планирования производственных цехов и участков и др. Для собственно конструкторского 3*D*-проектирования *Интермех* использует программы компании *Autodesk*.

Разработкой продуктов для САПР литейного производства занимается компания *Moldflow*, ее программы *Part Adviser* и *Mold Advisor* предназначены для моделирования процессов литья пластмасс.

Важное место в конструкторско-технологических САПР занимают программы технологической подготовки производства. Компания *Consistent Software* предлагает систему *TechnologiCS* для технологической подготовки дискретного производства. Эта система выполняет функции составления спецификаций, ведения дерева проекта и библиотеки чертежей, синтеза технологических процессов, выбора инструмента, расчета режимов резания, нормирования расхода материалов, ведения технологической документации. Система *SolidCAM* (*CADTech*), построенная, как и *Mechanical Desktop*, на ядре *ACIS*, служит для получения управляющих программ для токарной, 2,5- и 3-осевой фрезерной обработки на станках с ЧПУ. Система *ТЕХТРАН*

(*НИП «Информатика»*) включает модули токарной, фрезерной, электроэрозионной обработки.

Мировыми лидерами среди программ конечно-элементного анализа являются программно-методические комплексы *Nastran* и *Patran* (компания *MSC Software Corporation*) и *Ansys* (компания *Ansys Inc.*). Как правило, эти комплексы включают в себя ряд программ, родственных по математическому обеспечению, интерфейсам, общности некоторых используемых модулей. Эти программы различаются ориентацией на разные приложения, степенью специализации, ценой или выполняемой обслуживающей функцией. Например, в комплексе *Ansys* основные решающие модули позволяют выполнять анализ механической прочности, теплопроводности, динамики жидкостей и газов, акустических и электромагнитных полей. Во все варианты программ входят пре- и постпроцессоры, а также интерфейс с базой данных. Предусмотрен экспорт (импорт) данных между *Ansys* и ведущими комплексами геометрического моделирования и машинной графики.

Мировой лидер среди средств моделирования механических процессов на макроуровне путем решения СОДУ – программа *Adams*, а примером отечественных систем подобного назначения следует назвать программы *ПА*7 и *ПА*9. В САПР крупных предприятий обычно используют программы разных уровней. Связано это с тем, что более 80 % всех процедур конструирования можно выполнить на CAD-системах нижнего и среднего уровней, кроме того, «тяжелые» системы дороги. Поэтому предприятие приобретает лишь ограниченное число экземпляров (лицензий) программы верхнего уровня, а большинство клиентских рабочих мест обеспечивается экземплярами программ нижнего или среднего уровней. При этом возникает проблема обмена информацией между разнотипными CAD-системами. Она решается путем использования языков и форматов, принятых в *CALS*-технологиях, хотя для неискаженной передачи геометрических данных с помощью промежуточных унифицированных языков приходится преодолевать определенные трудности.

Контрольные вопросы

1. Дайте общую характеристику автоматизированным системам CAD/CAM/CAE.

2. Опишите функции CAD-систем (характеристики параметризации и ассоциативности, геометрическое моделирование).

3. Дайте характеристику основным функциям CAM-систем, включая автоматизацию технологической подготовки производства (CAPP).

4. Опишите модифицированный и генеративный подходы к CAPP.

5. Опишите групповую технологию проектирования и подготовки производства.

6. Обоснуйте необходимость физического моделирования в процессах проектирования (включая технологию быстрого прототипирования).

7. Дайте общую характеристику методам быстрого прототипирования и изготовления (БПИ).

8. Опишите методы стереолитографии, отверждения на твердом основании, избирательного лазерного спекания.

9. Опишите методы трехмерной печати, ламинирования, моделирования методом наплавки.

10. Дайте характеристику основным функциям CAE-систем и перспектив их развития применительно к разработке методов виртуальной инженерии.

11. Опишите структуру и функции виртуальной инженерии.

12. Укажите и опишите основные компоненты виртуальной инженерии.

13. Опишите основное оборудование виртуальной реальности (устройства ввода и вывода информации).

14. Опишите структуру и классификацию существующих САПР.

15. Дайте характеристику системам САПР верхнего уровня Unigrafics, CATIA, Pro/Engineer.

16. Дайте сравнительный анализ системам САПР среднего уровня.

Лекция 5
ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Наибольший успех при разработке сложных (мехатронных) систем может быть достигнут только в случае полной интеграции отдельных подсистем САПР. Поэтому в последние годы получили широкое распространение универсальные интегрированные CAD/CAM/CAE-системы, которые предназначены для комплексной автоматизации процессов проектирования, конструирования и производства различной продукции. Они входят в состав современных САПР. На практике применяется большое число интегрированных систем различных версий и конфигураций для решения конкретных задач проектирования. Такая ситуация порождает большие издержки проектирования, особенно если речь идет об участии большого количества исполнителей при проектировании сложных производственных систем.

Кроме того, в связи с большим объемом технических данных по мере разработки проекта возникает проблема переноса данных из одной системы в другую. Поэтому современные системы должны включать в свой состав программные пакеты, называемые системами управления данных в продуктах – PDM (product data management). Использование такой системы улучшает взаимодействие и повышает эффективность управления проектами. Универсальные CAD/CAM/CAE/PDM-системы обеспечивают следующие функции проектирования:

– трехмерное графическое моделирование;

– различные виды анализа и инженерных расчетов с использованием метода конечных элементов (МКЭ), моделирование кинематики и динамики механизмов и процессов;

– автоматизацию технологической подготовки производства;

– собственные или коммерческие СУБД;

– создание прикладных приложений концептуального проектирования и программного обеспечения сложных систем;

– управление данными проекта;

– обмен данными в различных графических форматах.

В качестве примера интегрированных САПР можно указать системы верхнего уровня: Catia, Unifraphics, Pro/Engineer, SolidWorks.

Далее рассмотрим программное обеспечение, позволяющее создавать и поддерживать интегрированные информационные среды для промышленных автоматизированных систем.

5.1. Системы PDM

Системы PDM предназначены преимущественно для информационного обеспечения проектирования – упорядочения информации о проекте, управление документами и документооборотом (включая спецификации и другие виды представления данных), обеспечения доступа к данным по различным атрибутам, навигации по иерархической структуре проекта. В ряде систем PDM поддерживают информационные связи не только внутри САПР, но и с производственной и маркетинговой документацией [1].

Если рассматривать ситуацию в динамике, то маркетинговые концепции должны передаваться в отдел планирования продуктов и в группу проектирования, которая взаимодействует с производственным отделом и группой поддержки. Сведения об обнаруженных проблемах возвращаются в отделы проектирования и производства. Сведения о продажах и проектах передаются поставщикам и партнерам. Данные о расходах обрабатывает бухгалтерия. Все эти виды деятельности тесно связаны друг с другом, поэтому изменения в содержании или состоянии проекта должны быть доступны всем участникам во избежание дорогостоящих ошибок.

Рассмотрим типичные для систем PDM основные функции [1, 3]:

1) поддержка интерактивной работы пользователя при создании моделей изделий (процессов), структурирование описаний

проектируемых объектов, предъявление пользователю этой иерархической структуры вместе с возможностями навигации по структуре (дереву изделия, проекта) и получение нужной информации по каждой указанной пользователем структурной компоненте;

2) управление конфигурацией изделия (процесса), ведение состава и контроль изменения изделия, сохранение истории проекта, классификация и кодификация изделий;

3) обеспечение целостности проектных данных при управлении версиями проекта и внесение изменений в проект (при изменении версии проекта сначала создается новая версия проекта, а изменения вносятся уже в эту новую версию; одна версия каждого объекта является текущей или активной версией; нельзя одновременно вносить изменения в один и тот же проект разным разработчикам);

4) управление документами и документооборотом, электронным архивом, поддержка классификаторов и справочников, автоматизированное составление спецификаций (в интегрированных САПР в документооборот входит большое число документов, связанных с процедурами маркетинга, планирования, администрирования и т. п.);

5) Использование полнофункциональных систем делопроизводства, разработанных независимо от конкретных PDM (ввод в оборот документов с помощью средств их автоматического распознавания и атрибутирования, поиск нужных данных, поддержка групповой работы над документами, разграничение прав доступа к документам, подготовка отчетов, маршрутизация документов, учет их движения, контроль исполнения предписанных документами действий, автоматическое уведомление соответствующих лиц, планирование работ, связанных с прохождением документов);

6) управление проектами (процессом проектирования) включает распределение основных и вспомогательных заданий и контроль их выполнения, выполнение проектных операций и процедур, пересылку документов и файлов конкретным пользователям, изменение статуса объекта, просмотр и утверждение инженерных проектов, внесение в них изменений и т. п.;

7) визуализация структуры изделия (проекта) в виде дерева, многооконное представление трехмерных изображений;

8) возможность подключения внешних систем;

9) использование криптографических средств и средств электронной подписи.

Интеграция данных на ранних этапах развития PDM связывалась только с организацией сквозного (параллельного) проектирования изделий и систем в рамках конкретной САПР. В настоящее время (как отмечалось выше) основным содержанием проблемы интеграции стало обеспечение интерфейса САПР с другими автоматизированными системами. Проблема решается с помощью поддержки типовых форматов, например путем конвертации данных из общепринятых форматов во внутренние представления конкретных САПР.

Примеры PDM

Первые известные PDM, созданные фирмами, разрабатывающими САПР или АСУП:

– iMAN (Unigrphics Solutions);
– Euclib Design Manager (Matra DataVision);
– Smar Team (Smart Solutions, Dessault Sysytems);
– Baan PDM (BAAN);
– Optegra и ProPDM (PTC);
– ENOVIA (IBM, Dessault Sysytems).

Дополнительные преимущества получены за счет совместного использования CATIA (Dessault Sysytems) и ENOVIA.

На роль PDM претендует система ведения архива технической документации и управления проектными данными Search (Интермех).

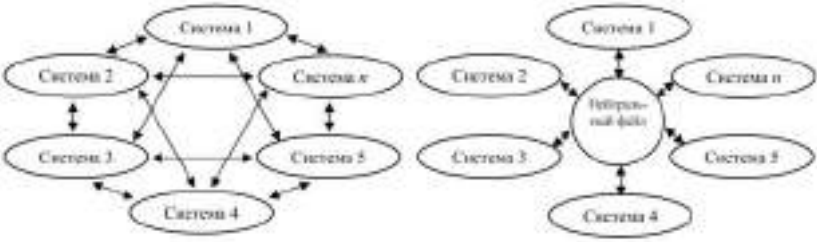
Другие примеры PDM:

– STEP Suite;
– Outdo CS PDM (Consistent Software);
– PartY Plus (Лоция Софт);
– Omega Production (СИКОР) может служить основой для интеграции САПР и АСУП.

5.2. Метод обмена данными

Когда две или более CAD/CAM/CAE-системы объединяются и связываются в единое приложение для совместного использования данных, часто возникает проблема обмена данными. Фактически всегда существует проблема (потребность) связать воедино несколько систем либо внутри одной организации, либо внешне, как в случае со смежниками (по проекту) или поставщиками компонентов. Для решения этой коммуникационной проблемы необходима возможность преобразовать данные технических требований одной системы в форму, понятную для других систем, и наоборот. Чтобы облегчить преобразование и не разрабатывать программы-конверторы для всех возможных пар САПР, было предложено несколько стандартных форматов для хранения данных технических требований. Вкратце рассмотрим типичные стандартные форматы.

Различные CAD/CAM/CAE-системы хранят данные технических требований в структурах разного вида, поэтому для переноса данных необходимо преобразовать данные технических требований одной системы в формат другой. Еще один конвертор (преобразователь) необходим для переноса данных между двумя системами в противоположном направлении. Следовательно, для каждой пары систем необходимо иметь два конвертора. Двунаправленные стрелки для каждой пары систем (рис. 5.1, *а*) предполагают наличие двух конверторов. Эти конверторы для каждой конкретной пары систем называются *прямыми конверторами* (*direct translators*). Если у нас есть n различных систем, нам необходимо разработать $n(n - 1)$ конверторов, поскольку количество пар систем равно $n(n - 1)/2$. Например, для обмена данными между 10 системами придется разработать 90 конверторов. Таким образом, метод прямого конвертирования непрактичен, так как требует разработки слишком большого количества конверторов при необходимости работать с множеством систем. Более того, добавление одной системы к n уже имеющимся потребует написания $2n$ дополнительных конверторов.



а) *б*)

Рис. 5.1. Два метода обмена данными между двумя различными системами

Однако обмен данными можно обеспечить, введя нейтральную структуру базы данных, называемую *нейтральным файлом* (*neutral file*), которая была бы независима от существующих САПР. Эта структура будет действовать как промежуточная точка коммуникации между различными структурами баз данных САПР (рис. 5.1, *б*).

Таким образом, в каждой системе будет своя пара конверторов для экспорта и импорта данных в этот нейтральный формат. Конвертор, преобразующий данные из собственного формата данной системы в нейтральный формат, называется *препроцессором* (*pre-processor*), а конвертор, выполняющий обратное преобразование, – *постпроцессором* (*post-processor*) (рис. 5.2). Соответственно в этом случае для обмена данными между n системами потребуется $2n$ конверторов и лишь два дополнительных конвертора необходимо будет добавить при введении новой системы.

Иными словами, этот косвенный метод свободен от присущего прямому методу недостатка, когда требовалось писать всевозрастающее количество программ. Это основная причина, по которой косвенный метод принят в качестве главного метода обмена данными между различными системами, несмотря на то что в сравнении с прямым методом у него имеются некоторые недостатки. В частности, прямые конверторы работают быстрее косвенных, и создаваемые ими файлы данных обычно имеют

меньший размер, чем нейтральные файлы, генерируемые косвенными конверторами. Файл данных в собственном формате конкретной системы обычно также оказывается меньше нейтрального файла из-за обобщенной природы последнего. Когда мы переносим данные технических требований через нейтральный файл, некоторая информация, как правило, теряется, особенно информация о топологическом дереве и ограничениях в системах параметрического моделирования.



Рис. 5.2. Обмен данными с использованием нейтрального файла

Известны три типичных формата нейтрального файла: IGES (*Initial Graphics Exchange Specification* – первоначальная спецификация обмена графическими данными), DXF (*Drawing Interchange Format* – формат обмена чертежами) и STEP (*Standard for Exchange of Product model data* – стандарт обмена данными о модели продукта). В настоящее время IGES является самым популярным форматом нейтрального файла, а формат DXF используется главным образом для обмена данными чертежей. STEP – это стандартный формат данных, используемый для хранения полной информации обо всем жизненном цикле продукта, включая проектирование, анализ, производство, контроль качества, испытания и обслуживание помимо обычных данных технических требований. В настоящее время CAD-системы, поддерживавшие формат IGES, ориентированы на переход к формату STEP.

В лекции 7 будут рассмотрены и другие способы организации информационных обменов.

5.3. Тенденции в развитии интегрированных систем [10, 11]

Сегодня информационная поддержка проектирования, конструирования и технологической подготовки сложных (мехатронных) производств, как правило, осуществляется с использованием преимущественно САПР верхнего уровня. Их выбор определяется способностью конкретных САПР решать поставленные перед производителем задачи.

Интегрированная CAD/CAM/CAE-система, дополненная средствами трехмерного проектирования и анализа, способными работать в распределенной компьютерной сети и удовлетворяющими принципам параллельного проектирования, определяет основную тенденцию ее развития.

Для дальнейшего развития интегрированных систем необходимо не только расширение функциональных возможностей системы проектирования, но и кардинального повышения производительности труда разработчиков, которая снижается в связи с возрастающим объемом обмена информацией между группами проектировщиков. Кроме того, требует решения еще одна проблема, связанная со сложностью переноса систем на другие платформы (например, с UNIX-платформы на платформу Wintel). Еще одна трудность возникает при необходимости ввести новый элемент в группу деталей, сохраненных в базе данных системы. Для этого соответствующая программная библиотека должна быть расширена, а затем перекомпилирована. Когда изменяются задачи проектирования, то проектировщики должны создавать новые прикладные подсистемы, не имея возможности применить разработанный ранее аппарат, аккумулирующий их «ноу-хау».

Поэтому предложенные в новых поколениях интегрированных систем их открытость и использование объектно-ориентированного проектирования (см. п. 3.3) направлены на преодоление некоторых указанных выше недостатков и ограничений.

Объектно-ориентированная модель определяется как электронная модель реального физического объекта, а не только как

представление его геометрии, и содержит не только геометрию объекта, но и все негеометрические его параметры, атрибуты и связи. Например, описание гидравлического пресса в виде «объекта» проектирования кроме размеров его конструктивных элементов будет содержать еще такие атрибуты, как «максимальное усилие», «величина давления в гидросистеме», «производительность» и «дата установки». В описание «объекта» также будут входить возможности его модификации, а также его отдельные компоненты, которые можно исследовать на прочность и надежность функционирования при различных эксплуатационных условиях.

Построенная на основе объектно-ориентированных моделей система CAD/CAM позволяет вводить описание объектов нового вида как подкласс более общего класса. Новый объект сможет наследовать не только атрибуты, но и методы преобразования уже известных объектов, что заодно существенно упрощает расширение базы данных конкретной системы и сокращает время проектирования объекта. В системы CAD/CAM/CAE закладываются возможности многократного повторного применения в разных проектах одних и тех же элементов конструкций и процессов.

Новая объектно-ориентированная архитектура открыта и обеспечивает широкое участие в совместном проектировании специалистов различных групп от заказчиков поставщиков комплектующих, до аналитиков и технологов.

Учитывая, что данные проекта – это самая ценная часть системы, то особенно тщательно должны быть разработаны все средства доступа к проектным данным и их обработки, обеспечивающие максимально высокую степень их непротиворечивости, защищенности и сохранности.

Возможность и направленность дальнейшего развития CAD/CAM/CAE-систем будут рассмотрены в лекции 7 «Информационная поддержка жизненного цикла мехатронных систем».

Контрольные вопросы

1. Дайте общую характеристику интегрированного подхода к разработке мехатронных систем.

2. Определите основное назначение систем PDM.

3. Опишите три первые (1–3) типичные функции PDM.

4. Опишите три следующие (4–6) типичные функции PDM.

5. Опишите три последние (7–9) типичные функции PDM.

6. Приведите примеры PDM.

7. Обоснуйте необходимость обмена данными между разными САПР.

8. Опишите метод прямого конвертирования обмена данными.

9. Опишите метод с использованием нейтрального файла обмена данными (косвенный метод).

10. Проведите сравнительный анализ двух методов обмена данными.

11. Опишите три типичных формата нейтрального файла.

12. Проведите сравнительный анализ трех типичных форматов нейтрального файла.

13. Опишите схему обмена данными с использованием нейтрального файла.

14. Перечислите дополнительные средства, необходимые для расширения функциональных возможностей CAD/CAM/CAE-систем.

15. Перечислите проблемы, которые необходимо решить для дальнейшего развития интегрированных CAD/CAM/CAE-систем.

16. Объяснить, почему открытость интегрированных систем и использование объектно-ориентированного проектирования направлены на дальнейшее развитие интегрированных систем.

Лекция 6
КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

6.1. Основные положения

Следуя [12], отметим, что проектирование – сложная итерационная процедура, содержащая множество неформальных решений. И тем не менее существует определенная последовательность проектных действий.

Первым этапом (часто говорят верхним уровнем) проектирования является разработка концепции изделия (концептуальное проектирование). Концепция изделия (процесса) – это система взглядов на будущее изделие (производственного процесса).

Концептуальное проектирование выполняют в процессе предпроектных исследований (см. рис. 3.2), когда формируется техническое задание (ТЗ), технические предложения и эскизный проект будущего изделия (производственного процесса).

Все выше сказанное относится и к процедуре модернизации (реинжинирингу) деятельности предприятия, на котором реализуется производственный процесс.

Предпроектные исследования предприятий, на которых создаются или модернизируются производственные процессы, проходят путем обследования этих предприятий. На основе результатов обследования строят модель, отражающую деятельность предприятия на данный момент (до модернизации). Такую модель называют «AsIs' (как есть). В процессе проектирования нового производственного процесса в качестве модели «AsIs' принимается ее ближайший прототип.

Далее путем изменения модели «AsIs' разрабатывают новую модель производственного процесса, которую называют моделью «ToBe» (как должно быть). Модель «ToBe» – это сложная модель, которая имеет несколько аспектов описания. В ее состав входят *функциональные*, *информационные*, *поведенческие* и *структурные* модели.

Функциональная модель системы описывает совокупность выполняемых системой функций. Она должна отвечать на следующие вопросы [12]: «Какие функции выполняет система?», «Какова структура функций?», «Что есть вход и выход функций?», «Что обеспечивает управление функцией?», «Как связаны функции и компоненты системы?», «Как избежать дублирования функций?». В функциональную структуру должны войти, как минимум, все функции, приведенные в ТЗ на систему.

Информационная модель отражает структуры данных – их состав и взаимосвязи.

Поведенческая модель описывает функционирование системы (процессов) как упорядоченную последовательность событий с одновременным описанием объектов, имеющих непосредственное отношение к процессу. В ней фигурируют такие категории, как состояние системы, событие, переход из одного состояния в другое, условия перехода, последовательность событий. Если функциональная модель позволяет ответить на вопрос: «Что делает система?», то поведенческая модель объясняет «Как система это делает». В основе поведенческого моделирования лежат модели имитационного моделирования систем массового обслуживания, сети Петри, методы конечного автомата.

Структурная модель характеризует совокупность элементов системы и их взаимосвязь, описывает морфологию (построение) системы.

Концептуально современный подход к созданию и информационному обеспечению сложных (мехатронных) производственных процессов и систем базируется на следующих общих положениях:

1. Основой разработки мехатронных систем служат методы *совмещенного* (*параллельного*) проектирования, предполагающие

совмещение во времени некоторых этапов проектирования, выполняемых последовательно при традиционном проектировании (например, последовательно выполняется разработка механической, электронной, сенсорной и компьютерной частей системы с последующей разработкой интерфейсных блоков).

2. Синергетический характер мехатронных систем проявляется в том, что составные части системы не просто дополняют друг друга, но объединяются таким образом, что образованная ими система начинает обладать новыми свойствами. При этом мехатронные системы, в отличие от традиционных, обладают меньшей структурной избыточностью и большей степенью интеграции. В результате повышается конструктивная компактность системы (вплоть до миниатюризации в микромашинах), улучшаются массогабаритные и динамические характеристики машин, упрощаются кинематические цепи. Возникают дополнительные возможности при проектировании мехатронных систем, наилучшим образом отвечающие требованиям заказчика. Функциональное, структурное и конструктивное объединение разных по физической природе элементов, связанных между собой аппаратными и программными интерфейсами – основа мехатронного подхода к процессу проектирования производственных процессов и систем.

3. Интегрированные мехатронные элементы выбираются разработчиком уже на стадии проектирования машины, а затем обеспечивается необходимая инженерная и технологическая поддержка при производстве и эксплуатации машины. В этом радикальное отличие мехатронных машин от традиционных, когда зачастую пользователь был вынужден самостоятельно объединять в систему разнородные механические, электронные и информационно-управляющие устройства различных изготовителей. Именно поэтому многие сложные комплексы (например, некоторые гибкие производственные системы в отечественном машиностроении) показали на практике низкую надежность и невысокую технико-экономическую эффективность.

4. Проектирование мехатронных систем базируется на идеях модульного конструирования, при котором из отдельных

многофункциональных модулей (механической, электронной, компьютерной частей системы) компонуются гибкие сложные системы модульной архитектуры.

5. В мехатронных системах наблюдается перераспределение функциональной нагрузки от аппаратных (например, электромеханических) модулей к информационным (компьютерным) модулям. При этом исключается многоступенчатое преобразование энергии и информации.

6. При проектировании мехатронных систем широко применяются методы *визуализации динамических процессов*, протекающих в системах, вплоть до использования систем *виртуальной реальности* при проектировании сложных технических систем.

7. Высокий уровень интеллектуализации мехатронных систем диктует необходимость проектирования интеллектуальных систем управления (для борьбы с неопределенностями, сопутствующими функционированию сложных динамических систем). При этом необходим обоснованный выбор интеллектуальных технологий при проектировании многоуровневых иерархических систем управления.

8. Использование концепции АКУ (аппарат конфигурируемого управления), у которой маневренность является приоритетной функцией. Ранее при создании машины сначала выполняли базовое проектирование (с точки зрения физики и механики), а затем в качестве подсистемы разрабатывали систему управления. Но оказалось, что можно спроектировать более эффективную машину, если еще на этапе базового проектирования заложить основы системы управления, используя принципы АКУ. При этом машина может реализовать свои функции только благодаря существованию системы управления. Таким способом можно добиться максимальной динамичности системы (машины). Устойчивость достигается благодаря наличию контуров управления. Концепция АКУ широко используется в самолетостроении.

9. Широкое использование «встроенных» систем (внедрение цифровых электронных блоков и микропроцессоров в мехатронные узлы машин и систем).

10. Бессенсорное управление – перенос функциональной нагрузки на интеллектуальные устройства мехатронных систем.

Практическое воплощение данных принципов требует привлечения всех современных методов проектирования и поддержки функционирования сложных (мехатронных) систем.

6.2. Инструментальные средства концептуального проектирования и модернизации систем

В современных информационных технологиях важное место отводится инструментальным средствам и средам разработки и модернизации мехатронных систем (производственных процессов и систем). Эти технологии и среды образуют системы, называемые CASE-технологиями (или CASE-системами).

CASE-технологии [3, 11]

Аббревиатура CASE имеет двойное толкование, соответствующее двум направлениям использования CASE-технологий. Первое из них Computer Aided Software Engineering, что переводится как «автоматизированное проектирование программного обеспечения». Соответствующие CASE-технологии называют инструментальными средами разработки программного обеспечения (ПО). В этом случае CASE-технологии часто отождествляют с инструментальными средами разработки ПО, называемыми средами быстрой разработки приложений (RAD – Rapid Application Development). Примерами широко известных инструментальных сред RAD являются Delphi, Borland, C++, PowerSoft, СУБД (Oracle). Кроме того, используются специализированные средства (Tools). Эти текстовые и графические редакторы, электронные таблицы, User-пакеты и языки для создания приложений в составе CAD/CAM-систем и т. п. Наряду с самостоятельными

RAD-системами имеются и RAD-системы в составе САПР. Это прежде всего системы CAS.CADE фирмы Matra Datavision.

Второе направление, в котором используются CASE-технологии, – это поддержка концептуального проектирования сложных, слабоструктурированных систем – Computer Aided System Engineering. Далее CASE-технологии этого направления будем называть *системами CASE для концептуального проектирования*.

Среди систем CASE для концептуального проектирования различаются, описанные выше системы *функционального*, *информационного* и *поведенческого* проектирования. Наиболее известной методикой функционального проектирования сложных систем является методика SADT (Structured Analysis and Design Technique), предложенная в 1973 г. Р. Россом и впоследствии ставшая основой стандарта IDEF0 (Integrated DEFinition 0) – язык функционального проектирования. Для информационного моделирования использована методика инфологического (информационного) проектирования баз данных IDEF1X. Для поведенческого (динамического) моделирования используется методика IDEF3.

Процесс построения функциональных, информационных и поведенческих моделей автоматизируется за счет применения поддерживающих методологию IDEFсистем – BPWin, ERWin, OOWin, Design/IDEF и др. При этом в начале методом CASE-технологий строится модель процесса (As Is) – «как есть», а затем, после ее анализа и оптимизации с учетом использования современных интегрированных CAD/CAM/CAE/PDM-систем и вновь предложенных компонентов, – модель (To Be) – «как нужно».

Подсистему CASE в составе системной среды САПР можно рассматривать как специализированную САПР, в которой объектом проектирования являются новые версии подсистем САПР, в частности версии, адаптированные к требованиям конкретного заказчика.

Методика IDEF0, IDEF1X, IDEF3 [1, 3]

Рассмотрим кратко методологию SADT. Подход SADT относится к классу формальных методов, используемых при анализе

и разработке модели системы. SADT-модель предназначена для полного, точного и адекватного описания системы, имеющей конкретное назначение. Это назначение, называемое целью модели, вытекает из формального определения модели в SADT: «*М моделирует А, если М отвечает на вопросы относительно А*». Разработку SADT-модели начинают с формулировки вопросов, на которые модель должна дать ответы, т. е. формулируется цель моделирования. Далее дается точное определение границ моделируемой системы (модель точно устанавливает, что является и что не является субъектом моделирования). Ограничивая субъект, SADT-модель помогает сконцентрировать внимание на описываемой системе и позволяет избежать включение посторонних субъектов. Таким образом, SADT-модель должна иметь единственный субъект. Кроме того, SADT требует, чтобы модель рассматривалась все время с одной той же позиции. Эта позиция называется «точкой зрения» данной модели и однозначно определяет цель и субъект, например, конкретного технологического (производственного) процесса. Иногда только одна из множества возможных точек зрения может дать описание, удовлетворяющее цели модели. Например, для создания согласованной модели производственного процесса нужно встать на точку зрения главного инженера предприятия.

После того как определены субъект, цель и точка зрения модели, начинается первая интеграция процесса моделирования по методике SADT. Субъект определяет, что включить в модель, а что исключить из нее. Точка зрения диктует автору модели выбор нужной информации о субъекте и форму ее подачи. Цель становится критерием окончания моделирования. Конечным результатом этого процесса является набор тщательно взаимосвязанных описаний, начиная с описания самого верхнего уровня всей системы и заканчивая подробным описанием технологических операций производственного процесса.

Каждое из таких взаимосвязанных описаний называется диаграммой. Модель SADT можно представить в виде древовидной структуры диаграмм, где верхняя диаграмма является наиболее общей, а самые нижние наиболее детализированы. Ниже будут приведены примеры таких диаграмм.

Министерство обороны США (DoD) использовало методику SADT в качестве части своей программы ICAM–$5ntegrated Computer Aided Manufacturing (интеграция компьютерных и промышленных технологий) и назвала ее IDEF0 (Integrated DEFinition 0) – язык функционального моделирования.

IDEF0 – это более строгая реализация ранее предложенной методики SADT (*Structured Analysis and Design Technique*). Начиная с момента создания первой версии, методика успешно применялась для проектирования телефонных сетей, систем управления воздушными перевозками, производственных предприятий и др.

Описание объектов и процессов в IDEF0 выполняется в виде совокупности взаимосвязанных блоков (рис. 6.1), называемых блоками ICOM (*Input – Control – Output – Mechanism*), где *I* –вход, *C* – управление, *O* – выход, *M* –механизм.

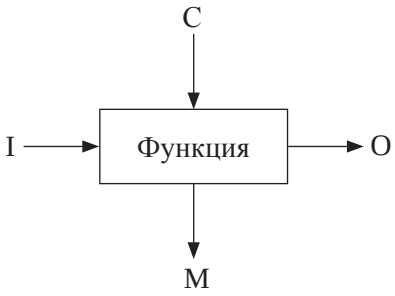


Рис. 6.1. Блок ICOM

Блоки представляют функции (работы), их названия выражаются глаголами или отглагольными существительными. Типичные примеры функций: планировать, разработать, классифицировать, измерить, изготовить, отредактировать, рассчитать, продать (или планирование, разработка, классификация, измерение, изготовление, редактирование, расчет, продажа). Число блоков на одном уровне иерархии – не более 6, иначе восприятие диаграмм будет затруднено. Число уровней иерархии не ограничено, но обычно – не более 5. Блоки в диаграммах IDEF0 связаны

дугами (стрелками), которые отображают множества объектов (данных). Управление (*control*) определяет условия выполнения. Примеры управления: требования, чертеж, стандарт, указания, план. Механизм (*mechanism*) выражает используемые средства, например: компьютер, САПР, оснастка, заказчик, фирма. Входы и выходы могут быть любыми объектами.

Пример диаграммы IDEF0 показан на рис. 6.2, где представлены функции, выполняемые на начальных этапах процесса реинжиниринга предприятия. На диаграмме показаны четыре этапа подготовки к реинжинирингу.

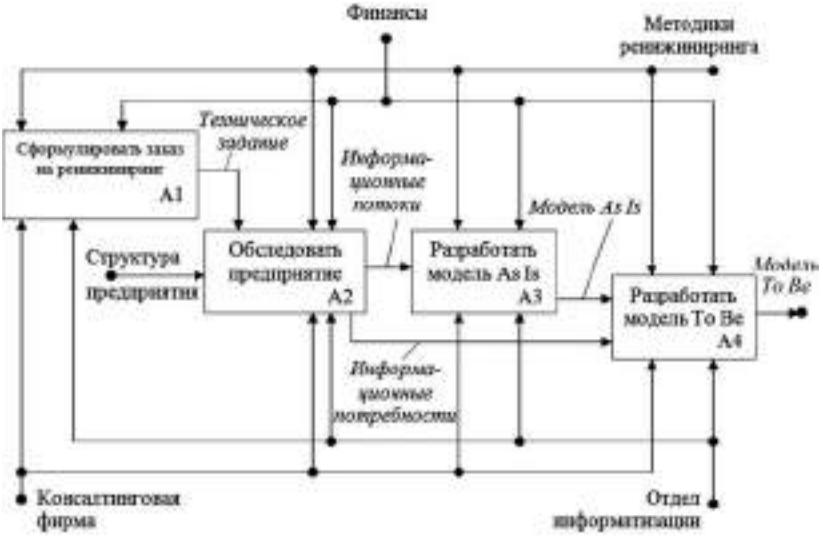


Рис. 6.2. Пример IDEF0-диаграммы

После формулировки заказа на перестройку процессов функционирования на базе информатизации управления производится обследование предприятия, выявляются его структура, информационные потоки между подразделениями, внешние информационные связи, степень компьютеризации, наличие вычислительной сети и т. п. На основании полученных данных составляется функциональная модель As Is и разрабатывается

модель To Be. Эта модель верхнего уровня далее конкретизируется, каждая из функций раскрывается более подробно на диаграммах следующих уровней.

Методика информационного проектирования приложений IDEF1X основана на построении информационных моделей приложений в виде диаграмм «сущность – связь». Для описания сущностей и отношений используется язык диаграмм.

Сущности в IDEF1X-диаграммах изображаются в виде прямоугольников, отношения – в виде стрелок. Отношения между сущностями в IDEF1X являются бинарными. Выделяют *идентифицирующие отношения* – связи типа «родитель – потомок», в которых потомок (зависимая сущность) однозначно определяется своей связью с родителем, и *неидентифицирующие отношения*, означающие, что у связанного этим отношением экземпляра одной сущности может быть (а может и не быть) соответствующий экземпляр второй сущности. Идентифицирующее отношение изображают на диаграмме сплошной линией между прямоугольниками связанных сущностей, неидентифицирующее – пунктирной линией. На дочернем конце линии должно быть утолщение (жирная точка). Мощность k связи – число экземпляров зависимой сущности, соответствующее одному экземпляру родительской сущности. Известное значение мощности может быть указано около утолщенного конца линии связи. При этом символ p означает $k \geq 1$, а символу z соответствует $k = 0$ или 1. Отсутствие символа интерпретируется как $k \geq 0$.

Различают также специфические и неспецифические отношения. *Неспецифические отношения* – это связи типа «многие ко многим», они обозначаются сплошной линией с утолщениями на обоих концах.

В отношениях «родитель – потомок» возможно наличие у потомка единственного родителя или нескольких родителей (ассоциативная связь). Выделяют также отношения категоризации (наследования), отражающие связи между некоторой общей сущностью и вариантами ее реализации (категориями). Примером категориальной связи является отношение «тип прибора – альтернативные варианты этого прибора».

Среди атрибутов различают ключевые и неключевые. Значение *ключевого атрибута* (*ключа*) однозначно идентифицирует экземпляр сущности. *Внешний ключ* – это атрибут (или атрибуты), входящий в ключ родителя и наследуемый потомком. На IDEF1X-диаграммах ключи записываются в верхней части прямоугольника сущности, причем внешние ключи помечают меткой FK (*Foreign Key*), неключевые атрибуты помещают в нижнюю часть прямоугольников. В идентифицирующих отношениях все ключи родителя входят и в ключи потомка, в неидентифицирующих – ключи родителя относятся к неключевым атрибутам потомка.

Между IDEF0 и IDEF1X-моделями одного и того же приложения существуют определенные связи. Так, стрелкам на IDEF0-диаграммах соответствуют атрибуты некоторых сущностей в IDEF1X-моделях, что нужно учитывать при построении информационных моделей.

Поведенческие аспекты приложений отражает методика IDEF3. Если методика IDEF0 связана с функциональными аспектами и позволяет отвечать на вопросы «Что делает система?», то в IDEF3 детализируются и конкретизируются IDEF0-функции и IDEF3-модель отвечает на вопросы «Как система это делает?». Язык IDEF3 – язык диаграмм, помогающий разработчику моделей наглядно представить моделируемые процессы. В IDEF3 входят два типа описаний: 1) процессно-ориентированные в виде последовательности операций; 2) объектно-ориентированные, выражаемые диаграммами перехода, характерными для конечно-автоматных моделей [3]. Программный продукт ProSim реализует методику IDEF3.

В заключение этого раздела рассмотрим все семейство стандартов IDEF. Применяемые в CASE-средствах разные методики и модели описывают различные свойства систем, важные, например, с точки зрения их автоматизации, а также позволяющие количественно оценить параметры проектов. Следует отметить, что спектр свойств систем различного назначения очень широк, и не все они к настоящему времени отражены в адекватных моделях. В то же время для класса информационных систем

организационного типа (*Management Information Systems* – MIS) адекватные модели разработаны и поддерживаются соответствующими средствами автоматизации.

Взаимная совокупность методик и моделей концептуального проектирования IDEF (*Integrated DEFinition*) разработана в США по программе *Integrated Computer Aided Manufacturing*. В настоящее время имеются методики функционального, информационного и поведенческого моделирования и проектирования, в которые входят IDEF-модели, приведенные ниже.

Название	**Назначение**
IDEF0	Функциональное моделирование *Function Modeling Method*
IDEF1 и **IDEF1X**	Информационное моделирование *Information and Data Modeling Method*
IDEF2	Поведенческое моделирование *Simulation Modeling Method*
IDEF3	Моделирование деятельности *Process Flow and Object Stale Description Capture Method*
IDEF4	Объектно-ориентированное проектирование *Object-oriented Design Method*
IDEF5	Систематизация объектов приложения *Ontology Description Capture Method*
IDEF6	Использование рационального опыта проектирования *Design Rational Capture Method*
IDEF8	Взаимодействие человека и системы *Human-System Interaction Design*
IDEF9	Учет условий и ограничений *Business Constraint Discovery*
IDEF14	Моделирование вычислительных сетей *Network Design*

IDEF0 реализует методику функционального моделирования сложных систем. Наиболее известной реализацией IDEF0 является методология SADT (*Structured Analysis and Design Technique*), предложенная в 1973 г. Д. Россом и впоследствии ставшая осно-

вой стандарта IDEF0. Эта методика рекомендуется для начальных стадий проектирования.

IDEF1X и **IDEF1** реализуют методики инфологического проектирования баз данных. В IDEF1X имеется ясный графический язык для описания объектов и отношений в приложениях, так называемый язык диаграмм «сущность – связь» (ERD – *Entry-Relations Diagrams*). Разработка информационной модели по IDEF1X выполняется в несколько этапов:

– выясняются цели проекта, составляется план сбора информации, при этом обычно исходные положения для информационной модели следуют из IDEF0-модели;

– выявляются и определяются основные сущности – элементы базы данных, в которых будут храниться эти системы;

– выявляются и определяются основные отношения, результаты представляются графически в виде так называемых ER-диаграмм;

– детализируются нестандартные отношения, определяются ключевые атрибуты сущностей; детализация отношений заключается в замене связей «многие ко многим» на связи «многие к одному» и «один ко многим»;

– определяются атрибуты сущностей.

IDEF2 и **IDEF3** реализуют поведенческое моделирование. Если методика IDEF0 связана с функциональными аспектами и позволяет отвечать на вопрос «Что делает система?», то в этих методиках детализируется ответ «Как система это делает». В основе поведенческого моделирования лежат модели и методы имитационного моделирования систем массового обслуживания, сети Петри, возможно применение модели конечного автомата, описывающей поведение системы как последовательности смен состояний.

Перечисленные методики относятся к так называемым структурным методам.

IDEF4 реализует объектно-ориентированный анализ больших систем. Он предоставляет пользователю графический язык для изображения классов, диаграмм наследования, таксономии методов.

IDEF5 направлен на представление онтологической информации приложения в удобном для пользователя виде. Для этого используются символические обозначения (дескрипторы) объектов, их ассоциаций, ситуаций и схемный язык описания отношений классификации, «часть-целое», перехода и т. п. В методике имеются правила связывания объектов (термов) в предложения и аксиомы интерпретации термов.

IDEF6 направлен на сохранение рационального опыта проектирования информационных систем, что способствует предотвращению структурных ошибок.

IDEF8 предназначен для проектирования диалогов человека и технической системы.

IDEF9 используется для анализа имеющихся условий и ограничений (в том числе физических, юридических, политических) и их влияния на принимаемые решения в процессе реинжиниринга.

IDEF14 предназначен для представления и анализа данных при проектировании вычислительных сетей на графическом языке с описанием конфигураций, очередей, сетевых компонентов, требований к надежности и т. п.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятия «концептуальное проектирование» (модели «As Is» и «To Be»).

2. Опишите функциональную и информационную модели производственного процесса (модели «To Be»).

3. Опишите поведенческую и структурную модели производственной системы.

4. Перечислите общие положения, на которых концептуально базируется современный подход к созданию и информационному обеспечению сложных процессов и систем.

5. Раскройте понятие «совмещенное (параллельное)» проектирование. Приведите пример.

6. В чем проявляется синергетический характер мехатронных систем?

7. Объясните причины широкого применения методов визуализации и использования «встроенных» систем при проектировании сложных систем.

8. Чем объясняется необходимость проектирования интеллектуальных систем управления сложными системами?

9. Раскройте двойное толкование аббревиатуры CASE.

10. Рассмотрите кратко методологию SADT.

11. Укажите основное назначение методик IDEF0, IDEF1X, IDEF3.

12. Опишите процесс построения функциональных моделей в процессе проектирования сложных систем (с использованием IDEF0-методики).

13. В чем состоит суть методики информационного проектирования сложных систем (приложений) IDEF1X?

14. Какие аспекты проектирования отражает методика IDEF3?

15. Охарактеризуйте все семейство стандартов IDEF.

16. Перечислите методики IDEF, относящиеся к структурным методам проектирования.

Лекция 7
ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Описанные выше методы IDEF задают единообразный подход к моделированию приложений, но не затрагивают проблем единообразного представления данных в процессах информационного обмена между разными компьютерными системами и приложениями. Необходимость решения этих проблем в интегрированных CAD/CAM/CAE-системах привела к появлению ряда унифицированных форматов представления данных в межкомпьютерных обменах, среди которых наиболее известными в машиностроении являются форматы IGES, DXF (см. раздел 5.2), EDIF в электронике и другие. Ограниченные возможности этих стандартов обусловили развитие работ в направлении полной информации обо всем жизненном цикле продукта, включая проектирование, анализ производства, контроль качества, испытание и обслуживание, помимо обычных данных технических требований, и привели к появлению формата STEP (Standard for Exchange jf Product data – стандарт обмена данными о модели продукта) в составе CALS-технологий.

7.1. CALS-технологии (основные понятия) [1, 3]

В настоящее время термин CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support) как «Непрерывное сопровождение и информационная поддержка всех этапов жизненного цикла изделий (ЖЦ)». На русском языке понятию CALS соответствует ИПИ (информационная поддержка изделий) или КСПИ (компьютерное сопровождение и поддержка изделий).

Из этих определений следует, что CALS-технологиями называются технологии комплексной компьютеризации всех сфер промышленного производства, цель которых – унификация и стандартизация спецификаций промышленной продукции на всех этапах ее жизненного цикла (см. рис. 1.1). Основные спецификации представлены проектной, технологической, производственной, маркетинговой и эксплуатационной документацией. В CALS-системах предусмотрены хранение, обработка и передача информации в компьютерных средах, оперативный доступ к данным в нужное время и в нужном месте.

Стратегия CALS предполагает создание единого информационного пространства (ЕИП) для всех участников ЖЦ изделия. ЕИП предполагает представление всей информации об изделии в электронном виде и организацию совместного использования информации для всех участников ЖЦ изделия (в соответствии с правилами доступа).

Основные свойства ЕИП:

– информация предоставляется в электронном виде;

– охватывается вся информация об изделии, созданная всеми исполнителями на любом этапе ЖЦ;

– ЕИП выступает основным источником данных для исполнителей, предоставляя (в соответствии с правами доступа) нужную информацию в нужное время и в нужном виде;

– для интеграции информации в ЕИП используются только международные и отраслевые стандарты, поддерживаемые подавляющим большинством производителей прикладных систем;

– для создания ЕИП используются существующие на предприятиях программно-аппаратные средства; необходима адаптация этих систем к работе в рамках ЕИП.

Стратегия CALS предусматривает два этапа при переходе к ЕИП:

– автоматизация отдельных процессов (или этапов) ЖЦ изделия и представление данных на них в электронном виде;

– интеграция автоматизированных процессов и относящихся к ним данных, уже представленных в электронном виде, в рамках ЕИП.

CALS-технологии – это набор методов реализации стратегии CALS:

– технологии реинжиниринга бизнес-процессов – набор методов реструктуризации бизнес-процессов в целях повышения их эффективности;

– технологии представления данных об изделии в электронном виде – набор методов для представления в электронном виде данных об изделии, относящихся к отдельным процессам ЖЦ изделия. Эти данные являются информационными моделями, обеспечивающими автоматизацию отдельных процессов ЖЦ изделия. Технологии представления данных включают в себя также технологии перевода данных из бумажного в электронный вид (*E-commerce* – *E*-бизнес). Рассматриваемая группа CALS-технологий состоит из известных методов, реализованных в соответствующих автоматизированных системах;

– технологии интеграции данных об изделии в рамках ЕИП – набор методов для интеграции автоматизированных процессов ЖЦ и относящихся к ним данных, представленных в электронном виде, в рамках ЕИП; эти технологии реализуются с помощью класса автоматизированных систем, называемых системами управления данными об изделии (проектными данными) – PDM (*Product data Management*). Для реализации технологии PDM существуют специализированные программные средства, называемые PDM-системами. Пользователями PDM-систем являются конструкторы, технологи, а также сотрудники, работающие в других сферах производства и обслуживания – продажи, маркетинга, снабжения, финансов, сервиса, эксплуатации и т. п.

Главная задача создания и внедрения CALS-технологий – обеспечение единообразных описаний и интерпретации данных независимо от места и времени их получения в общей системе, имеющей масштабы вплоть до глобальных. Структура проектной, технологической и эксплуатационной документации, языки ее представления должны быть стандартизованными. Тогда становится реальной успешная работа над общим проектом разных коллективов, разделенных во времени и пространстве и применяющих разные системы CAE/CAD/CAM. Одна и та же

конструкторская документация может быть использована многократно в разных проектах, а одна и та же технологическая документация – адаптирована к разным производственным условиям, что позволяет существенно сократить и удешевить общий цикл проектирования и производства. Кроме того, упрощается эксплуатация систем.

CALS-технологии не отвергают существующие автоматизированные системы проектирования и управления, а являются средством их эффективного взаимодействия. Поэтому интеграция автоматизированных систем на современных предприятиях должна быть основана на CALS-технологиях. Внедрение их требует освоения имеющихся технологий и CALS-стандартов, развития моделей, методов и программ автоматизированного проектирования и управления. Важные проблемы, требующие решения при создании CALS-систем, – управление сложностью проектов и интеграция программного обеспечения, включая вопросы декомпозиции проектов, распараллеливания проектных работ, целостности данных, межпрограммных интерфейсов и др.

CALS-технологии зародились в 1980-е гг. в недрах военно-промышленного комплекса США в связи с их планами в области стратегической оборонной инициативы (СОИ). Поэтому не удивительно, что среди имеющихся CALS-стандартов фигурирует большое число стандартов и рекомендаций DoD (Министерства обороны США). Для реализации планов СОИ требовались совместные усилия многих промышленных компаний и предприятий в проектировании, производстве и логистической поддержке сложных изделий, а это означало необходимость унификации представления данных об изделиях. Было осознано, что для взаимодействия автоматизированных систем разных предприятий нужна унификация не только формы, но и содержания (семантики) проектной, технологической, эксплуатационной и другой информации о совместно производимой продукции. Другими словами, требовалось создание единой информационной среды взаимодействия всех крупнейших фирм американского военно-промышленного комплекса.

Оказалось, что это чрезвычайно сложная проблема, решение которой требует длительной и многосторонней проработки в масштабах, выходящих за пределы одной страны. Выяснилось также, что создание единой информационной среды требуется не только для уникальных программ типа СОИ, но и для производства любых сложных систем, в первую очередь военной техники, если ее производство основано на взаимодействии многих предприятий.

В связи с возникшими практическими потребностями рядом комиссий и комитетов в рамках международных организаций были начаты работы по созданию информационных технологий и взаимодействию предприятий и выражающих их международных стандартов. Например, в Международной организации стандартизации (*International Standard Organization* – ISO) этими вопросами ведает подкомитет SC4 комитета TC184. В SC4 имеется несколько рабочих групп, занимающихся конкретными сериями стандартов. В настоящее время в ведущих индустриальных странах мира созданы национальные органы, координирующие работу в области CALS-технологий. В международном масштабе развитием CALS помимо ISO занимаются и такие организации, как ICC (*International CALS-Congress*), EIA (*Electronics Industry Association*), IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) и др. В России в рамках Госстандарта создан технический комитет № 431 «CALS-технологии».

В 1990-х гг. разработан и к настоящему времени принят ряд серий международных стандартов, представляющих CALS-технологии, среди которых наиболее значимы стандарты ISO 10303 STEP (*Standard for Exchange of Product Data*). В контрактах, заключаемых на поставку зарубежным заказчикам военной техники, требования к изделиям и документации на них, как правило, формулируются с позиций международных CALS-стандартов и стандартов DoD (последние имеют префикс MIL).

Развитие CALS-технологий стимулирует образование виртуальных производств, при которых процесс создания спецификаций с информацией для программного управляемого технологического оборудования, достаточной для изготовления изделия,

может быть распределен во времени и пространстве между многими организационно автономными проектными организациями.

Ожидается, что успех на рынках сложной технической продукции будет немыслим вне CALS-технологий. Так, уже сегодня фирмы, предлагающие военную технику без электронной документации, выполненной в соответствии с CALS-стандартами, не имеют никаких шансов на успех в конкурентной борьбе.

Итак, CALS-технологии призваны, в конечном счете, повысить эффективность создания и использования сложной техники (в том числе мехатронных систем). В чем выражается повышение эффективности?

Во-первых, улучшается качество изделий за счет более полного учета имеющейся информации при проектировании и принятии управленческих решений. Так, обоснованность решений, принимаемых в автоматизированной системе управления предприятием (АСУП), будет выше, если лицо, принимающее решение, и соответствующие программы АСУП имеют оперативный доступ не только к базе данных АСУП, но и к базам данных других автоматизированных систем – системам автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированной системе технологической подготовки производства (АСТПП) и автоматизированной системе управления технологическими процессами (АСУТП), и, следовательно, могут оптимизировать планы работ, содержание заявок, распределение исполнителей, выделение финансов и т. п. При этом под оперативным доступом необходимо понимать не просто возможность считывания данных из баз данных, но и легкость их правильной интерпретации, т. е. согласованность по синтаксису и семантике с протоколами, принятыми в АСУП. То же относится и к другим системам, например, технологические подсистемы должны с необходимостью воспринимать и правильно интерпретировать данные, поступающие от подсистем автоматизированного конструирования. Последнего не так легко добиться, если основное предприятие и организации-смежники работают с разными автоматизированными системами.

Во-вторых, сокращаются материальные и временные затраты на проектирование и изготовление изделий. Применение

CALS-технологий позволяет существенно сократить объемы проектных работ, так как описания ранее выполненных удачных разработок компонентов и устройств, многих составных частей оборудования, машин и систем, проектировавшихся ранее, хранятся в базах данных сетевых серверов, доступных любому пользователю CALS-технологий. Доступность опять же обеспечивается согласованностью форматов, способов, руководств в разных частях общей интегрированной системы. Кроме того, появляются более широкие возможности для специализации предприятий, вплоть до создания виртуальных предприятий, что также способствует снижению затрат.

В-третьих, значительно снижаются затраты на эксплуатацию благодаря реализации функций интегрированной логистической поддержки. Существенно облегчается решение проблем ремонтопригодности, интеграции продукции в различного рода системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации и т. п.

По аналогии с САПР для CALS-технологий разработаны различные виды обеспечения их применения: *лингвистическое*, *информационное*, *программное*, *математическое*, *методическое*, *техническое* и *организационное*.

К ***лингвистическому обеспечению*** относятся языки и форматы данных о промышленных изделиях и процессах, используемые для представления и обмена информацией на этапах жизненного цикла изделий.

Информационное обеспечение составляют базы данных, в которых имеются сведения о промышленных изделиях, используемые разными системами в процессе проектирования, производства, эксплуатации и утилизации продукции. В состав информационного обеспечения входят также серии международных и национальных CALS-стандартов и спецификаций.

Программное обеспечение CALS представлено программными комплексами, предназначенными для поддержки единого информационного пространства этапов жизненного цикла изделий. Это, прежде всего, системы управления документами и документооборотом, управления проектными данными (PDM), взаимодействия предприятий в совместном электронном бизнесе

(CPC), подготовки интерактивных электронных технических руководств и некоторые другие.

Математическое обеспечение CALS включает методы и алгоритмы создания и использования моделей взаимодействия различных систем в CALS-технологиях. Среди этих методов в первую очередь следует назвать методы имитационного моделирования сложных систем, методы планирования процессов и распределения ресурсов.

Методическое обеспечение CALS представлено методиками выполнения таких процессов, как параллельное (совмещенное) проектирование и производство, структурирование сложных объектов, их функциональное и информационное моделирование, объектно-ориентированное проектирование, создание антологий приложений.

К ***техническому обеспечению*** CALS относят аппаратные средства получения, хранения, обработки и визуализации данных при информационном сопровождении изделий. Взаимодействие частей виртуальных предприятий, систем, поддерживающих разные этапы жизненного цикла изделий, происходит через линии передачи данных и сетевое коммутирующее оборудование. Однако используемые технические средства не являются специфическими для CALS, и поэтому вопросы технического обеспечения не рассматриваются.

Наконец, организационное обеспечение ***организационное обеспечение*** CALS представлено различного рода документами, совокупностью соглашений и инструкций, регламентирующих роли и обязанности участников жизненного цикла промышленных изделий.

За последний год появился целый ряд предприятий, которые активно занимаются изучением и применением CALS-технологий для решения конкретных производственных задач повышения качества и конкурентоспособности выпускаемой продукции. К таким организациям относятся АВПК «Сухой», АНТК им. Туполева, ОАО «Туламашзавод», Конструкторское бюро приборостроения (г. Тула), корпорация «Компомаш», корпорация «Метран» и др. Разработкой конкретных применений CALS-технологий для

ряда областей промышленности занимается МГТУ «Станкин». Решением координационного совета РАН по техническим наукам от 12 февраля 2002 г. Институту конструкторско-технологической информатики РАН поручена координация работ по CALS (ИПИ)-технологиям.

7.2. STEP-стандарты [5]

Выше было отмечено, что для реализации CALS-технологий необходимо обеспечить единообразное описание и интерпретацию данных, независимо от места и времени их получения в общей системе, имеющей масштабы вплоть до глобальных. Это единообразие достигается за счет разработки системы CALS-стандартов, созданных под эгидой ISO (*International Standard Organization*) – международной организации стандартизации.

Центральное место в системе CALS-стандартов занимает ISO 10303 под названием STEP (*Standard for Exchange of Product Data* – стандарт для обмена данными о промышленных изделиях), определяющий средства описания (моделирования) промышленных изделий на всех стадиях их ЖЦ. Для этого был разработан инвариантный к приложениям язык Express, введенный в STEP. Совокупность стандартов STEP составляет основу CALS-технологий.

В STEP используются следующие важные понятия:

AAM – *Application Activity Model* – функциональная модель IDEFO для определенного приложения;

ARM – *Application Requirements Model* – модель, представляющая данные с точки зрения пользователя. В частности, в этой модели данные могут быть выражены как средствами, типичными для приложения, так и с использованием синтаксиса языка Express;

AIM – *Application Interpreted Model* – ARM-модель, переведенная в STEP-представление с использованием ряда унифицированных в STEP-понятий, закрепленных в интегрированных ресурсах;

AP – *Application Protocol* – STEP-стандарт, отражающий специфику конкретного приложения;

SDAI – *Standard Data Access Interface* – программный интерфейс к источникам данных (репозиториям) прикладных систем (в том числе к библиотекам моделей систем CAD/CAM) с переводом моделей в STEP- файлы; используется в STEP-средах для организации обменов между приложениями через общую базу данных STEP.

STEP – это совокупность стандартов, состоящих из нескольких томов. Тома имеют свои номера и обозначаются как «часть №» или ISO 10303-№. К настоящему времени разработано более сотни томов. Стандарты ISO 10303 определяют средства описания (моделирования) промышленных изделий на всех этапах их ЖЦ.

Том 1 (ISO 10303-1) – вводный стандарт, выполняющий роль аннотаций всей совокупности томов. В этом стандарте вводится ряд терминов, используемых в других стандартах, например таких, как продукт (*product*), приложение (*application*), проектные данные (*product data*), модель (*model*), модели AAM, AIM, ARM, прикладной протокол (AP), интегрированный ресурс (*integrated resource*), элемент функциональности (*unit of functionality* – UoF).

Тома 11–14 – методы описания (*description methods*).

Тома 21–29 – методы реализации (*implementation methods*).

Тома 31–35 – основы тестирования моделей (*conformance testing methodology and framework*).

Тома 41–50 – интегрированные основные ресурсы (*integrated generic resources*).

Тома 101–108 – интегрированные прикладные ресурсы (*integrated application resources*).

Тома 201–236 – прикладные протоколы (*application protocols*).

Тома 301–332 – абстрактные тестовые наборы (*abstract test suites*).

Тома 501–520 – прикладные компоненты (*application interpreted constructs*).

Ряд томов переведен на русский язык и представлен в виде национальных стандартов России. Это, например, ГОСТ Р ИСО 10303-1–99, посвященный обзору и основополагающим принципам STEP, ГОСТ Р ИСО 10303-11–99 – справочное руководство по языку Express, ГОСТ Р ИСО 10303-21–99 – то же по обменному файлу, ГОСТ Р ИСО 10303-41–99 – описание интегрированных

родовых ресурсов. Перечисленные документы соответствуют стандартам ISO 10303-1, ISO 10303-11, ISO 10303-21, ISO 10303-41. Подготовлены к утверждению ГОСТы, соответствующие томам 43, 44, 203 стандарта ISO 10303.

Таким образом, в томах STEP описаны основные принципы обмена данными, изложены правила языка Express, даны методы его реализации. Модели, методы тестирования моделей, ресурсы как общие для приложений, так и некоторые специальные (например, геометрические и топологические модели, описание материалов, процедуры черчения, конечно-элементного анализа и т. п.), введены прикладные протоколы, отражающие специфику моделей в конкретных предметных областях. Вопросам взаимодействия АС в STEP уделяется основное внимание – выделена подгруппа томов, посвященных способам обмена данными между разными системами, созданными в рамках STEP-технологий.

Развитие CALS-технологий находит выражение также в разработке серий стандартов ISO13584 *Parts Library* (сокращенно *P_Lib*), ISO 14959 *Parametrics*, ISO15531 *Manufacturing Management Data* (*Mandate*), ISO 18876 *Integration of Industrial Data for Exchange, Access, and Sharing* (*IIDEAS*), ISO 8879 *Standard Generalized Markup Language* (*SGML*) (см. т. 107, 108).

Более подробно со структурой STEP-стандартов (методами описания диалектов языка Express № 11–19, методами реализации межпрограммного информационного обмена между прикладными системами в STEP-среде № 21–29, прикладными протоколами № 201–236, интегрированными ресурсами и прикладными компонентами № 41–50 и № 101–108, № 501–520) можно познакомиться в работе [5, с. 166–180].

7.3. Организация в STEP информационных обменов [1]

Возможны обмены через обменный файл, описанный выше (см. п. 5.2), и через базу данных SDAI (Standard Data Access Interface) – интерфейс к данным, представленным в соответствии с CALS-стандартами.

Обменный файл используется при связи моделей *A* и *B*, имеющих общие данные с различными обозначениями. Пользователь должен написать перекодировщик (например, на языке Express-X), с помощью которого отождествляются идентификаторы одних и тех же сущностей, имевших разные обозначения в моделях *A* и *B* (рис. 7.1).

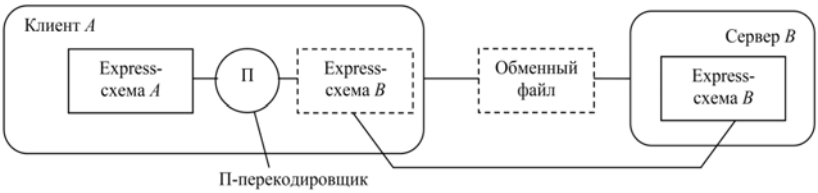


Рис. 7.1. Взаимодействие Express-приложений через обменный файл

Связь через интерфейс SDAI отличается от предыдущего способа обмена тем, что в SDAI имеет место не просто обмен, а разделение данных многими пользователями, и SDAI фактически выступает в роли метамодели для разных САПР. Другими словами, SDAI представляет собой интерфейс, содержащий набор функций на языках C++ и C, для доступа к разделяемым моделям, которые могут быть представлены в виде обменного файла (рис. 7.2).

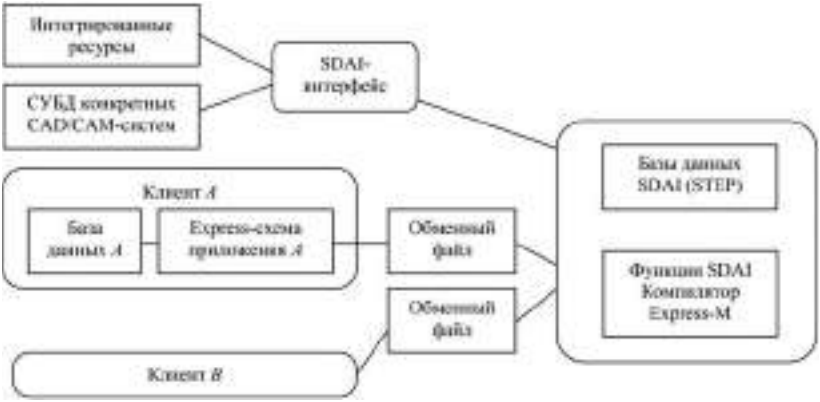


Рис. 7.2. Взаимодействие Express-приложений через базу данных SDAI

В CALS-технологиях рассматриваются не только вопросы представления данных и организации информационных обменов, но и вопросы моделирования приложений и проектирования сложных систем на базе концептуального проектирования.

В заключение данной лекции рассмотрим проблемы практического использования CALS-технологий.

7.4. Проблемы практического использования CALS-технологий

Проблема внедрения CALS-технологий в практику работы промышленных предприятий имеет организационный, технологический, кадровый аспекты.

В организационном плане прежде всего необходима убежденность руководителей предприятий в целесообразности (а в ряде случаев и в неизбежности) перехода к CALS-технологиям, что позволит сконцентрировать усилия на разработке и реализации планов реинжиниринга предприятий с постепенным внедрением элементов CALS-технологий. Эти планы направлены на создание корпоративной автоматизированной системы (КАС), интегрирующей системы автоматизации проектирования, управления и технологической подготовки производства. Особую важность вопросы создания КАС на базе CALS-технологий имеют для производственных объединений, включающих несколько предприятий.

Автономно функционирующие системы САПР, АСУП, АСУТП уже имеются на многих предприятиях. Очевидно, что при их интеграции на основе CALS-технологий собственно задача замены уже используемых систем какими-либо другими не ставится, поскольку замена – процедура дорогостоящая, длительная и болезненная, требующая переучивания специалистов. Замена может быть вызвана не особенностями CALS, а лишь выявленной недостаточной функциональностью используемых систем (например, невозможностью проектирования сборок с тысячами компонентов).

Что в этом случае подразумевается под «единой электронной моделью изделия»? Ответ заключается в следующем: единая электронная модель изделия имеет место, если любая подсистема или пользователь КАС (с соответствующими полномочиями) может, обратившись к базе данных системы, получить нужное подмножество данных об изделии, причем это подмножество будет согласовано с подмножествами, запрашиваемыми другими подсистемами или пользователями. Очевидно, что подмножества данных (профили), запрашиваемые конструкторскими, технологическими, управленческими и другими подсистемами и службами, включают как специфические, так и общие атрибуты, причем общие атрибуты будут иметь одинаковые значения в каждом подмножестве.

Если на предприятии автоматизация была развита слабо, то создание на нем КАС нужно начинать с обследования деятельности предприятия. Перед обследованием формируются и в процессе его проведения уточняются цели обследования – определение возможностей и ресурсов для повышения эффективности функционирования предприятия на основе автоматизации процессов управления, проектирования, документооборота и т. п. Содержание обследования – выявление структуры предприятия, выполняемых функций, информационных потоков, имеющихся опыта и средств автоматизации. Обследование проводят системные аналитики (системные интеграторы) совместно с представителями организации-заказчика.

На основе анализа результатов обследования строят модель, отражающую деятельность предприятия на данный момент. Такую модель называют As Is – «как есть». Далее разрабатывают исходную концепцию КАС. Эта концепция включает в себя предложения по изменению структуры предприятия, взаимодействию подразделений, информационным потокам, что выражается в модели To Be – «как должно быть».

Результаты анализа конкретизируются в техническом задании на создание КАС. В нем указывают потоки входной информации, типы выходных документов и предоставляемых услуг, уровень защиты информации, требования к производительности

(пропускной способности) и т. п. Техническое задание направляют заказчику для обсуждения и окончательного согласования.

Перевод документов в электронную форму – одна из первых задач внедрения CALS-технологий. Для создаваемого электронного архива документов нужно в соответствии со спецификациями MIL-PRF-2800x выбрать единые форматы представления чертежной и текстовой информации. Далее необходимы разработка проекта корпоративной вычислительной сети и его реализация, выбор, приобретение и установка системы PDM, обучение сотрудников предприятия работе в КАС.

Для успешного внедрения и использования CALS-технологий предприятие должно располагать инженерными кадрами, знающими методы и умеющими использовать средства автоматизированного проектирования, поскольку CALS-технологии развиваются прежде всего на базе САПР. В настоящее время в технических вузах страны студенты изучают такие разделы САПР, как геометрическое моделирование и машинная графика, математическое моделирование, оптимизация проектных решений. Целесообразно дополнить учебные программы соответствующих курсов, включив в них изучение вопросов CALS-технологий.

Так, вопросы геометрического моделирования, изучаемые в курсах инженерной графики, основ САПР или в специальном курсе «Вычислительная геометрия», полезно дополнить фрагментами соответствующих прикладных протоколов STEP. В разделах, посвященных математическому моделированию, нужно знакомить студентов с возможностями многоаспектного моделирования, в том числе на базе языка VHDL-AMS. Студенты должны быть знакомы с методиками концептуального проектирования IDEF0, IDEF1X и объектно-ориентированного проектирования на базе языка UML. Эти вопросы, так же как структура стандартов STEP и основы языка Express, могут быть предметом изучения в отдельном курсе «CALS-технологии» или в курсе «Основы автоматизированного проектирования». В раздел оптимизации проектных решений нужно включить методы оптимального планирования и распределения ресурсов. Наконец, следует предусмотреть знакомство студентов с основами Internet-технологий,

в том числе с представлением документов с помощью языков разметки.

Естественно, что преподавание вопросов CALS-технологий требует развития лабораторной базы. В составе программного обеспечения, поддерживающего лабораторные циклы по САПР и CALS, необходимо иметь по крайней мере один из пакетов MCAD (с модулями CAD и CAM), программы моделирования (например, типа ПА9), пакеты поддержки методик функционального и информационного моделирования (например, BPWin и ERWin), XML-редактор, желательно приобретение PDM. Циклы дисциплин радиоэлектронного профиля должны поддерживаться программным обеспечением сквозного проектирования радиоэлектронной аппаратуры и в первую очередь программами разработки схем на базе ПЛИС и проектирования печатных плат.

Более глубоко с отдельными разделами CALS-технологий: обзор CALS-стандартов, математическое, лингвистическое и программное обеспечение – можно ознакомиться в [1, 3, 7, 12].

Контрольные вопросы

1. Дайте обоснование необходимости появления формата STEP обмена данными.
2. Дайте общее определение термина CALS-технологии.
3. Сформулируйте суть стратегии CALS.
4. Перечислите основные свойства единого информационного пространства (ЕИП).
5. Опишите два этапа перехода к ЕИП.
6. Перечислите методы реализации стратегии CALS.
7. Сформулируйте главную задачу создания и внедрения CALS-технологий.
8. Опишите историю зарождения CALS-технологий.
9. Укажите причины повышения эффективности создания и применения сложной техники при использовании CALS-технологий.
10. Опишите различные виды обеспечения CALS-технологий.

11. Укажите условия, необходимые для реализации CALS-технологий.

12. Сформулируйте основное назначение стандарта ISO 10303 (STEP-стандарт).

13. Дайте общую характеристику совокупности стандартов ISO 10303 (содержание томов, входящих в стандарты).

14. Опишите два способа организации в STEP информационных обменов.

15. Опишите порядок внедрения CALS-технологий в практику работы промышленных предприятий.

16. Опишите методику преподавания CALS-технологий для обучения инженерных кадров.

Лекция 8
ОСНОВНЫЕ ПРИКЛАДНЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

8.1. Формирование общих проектных решений [3, 12, 13]

Исторически сложилось, что при традиционном проектировании управляемых машин и процессов разработка механической, электронной, информационной и компьютерной частей ведется последовательно и независимо друг от друга (рис. 8.1).

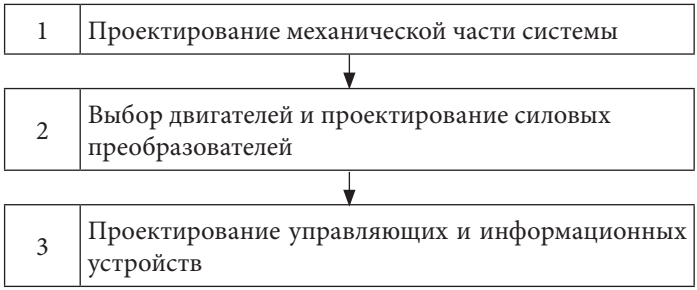


Рис. 8.1. Традиционный алгоритм проектирования

При этом возможности разработчика системы управления крайне ограничены, так как основные конструкторские решения уже приняты на предыдущих этапах, выбор двигателей и силовых преобразователей завершен и не подлежит корректировке при разработке электронной и управляющей частей системы. Кроме

того, при традиционном проектировании многочисленные интерфейсы, связывающие в мехатронной машине (производственном процессе) устройства различной физической природы (механические, электронные, информационные), предопределяют их конструктивную и аппаратно-программную сложность. Опыт эксплуатации сложных систем показывает, что до 70 % проблем их функционирования связаны с надежностью связей и соединений. Поэтому была предложена новая методологическая основа проектирования мехатронных систем – методы параллельного проектирования. Суть методологии параллельного проектирования заключается в одновременном и взаимосвязанном синтезе всех устройств мехатронной системы уже на этапах проектирования и изготовления интегрированных модулей системы.

Следуя [13], можно выделить следующие уровни интеграции в мехатронных системах: первый уровень образуют мехатронные (технологические) устройства и составляющие их элементы, второй – включает интегрированные мехатронные модули, третий – предполагает компоновку из мехатронных модулей, четвертый – предполагает построение на единой интеграционной платформе производственных систем (реконфигурируемых производств).

Описанные выше методы параллельного проектирования и выделения уровней интеграции в мехатронных системах позволяют определить направление и глубину интеграционных процессов при проектировании сложных систем.

Использование гибких технологий при проектировании и изготовлении мехатронных систем определяет два направления проектных и конструкторских работ:

1) собственно проектирование производственных процессов на предприятиях на базе готовых программных и аппаратных (технологических) компонентов с помощью специальных инструментальных средств разработки приложений (например, CASE-средств);

2) проектирование упомянутых компонентов и инструментальных средств, ориентированных на многократное применение при разработке многих производственных процессов (систем).

Первое направление базируется на системотехнике, информационных технологиях и программных продуктах, инструментальных средствах разработки приложений (см. лекции 6, 7).

Второе направление в большей мере относится к области разработки математического и программного обеспечения (МО, ПО), методов анализа и синтеза проектных решений, технологий программирования на базе знаний и т. п.

В дальнейшем в лекции основное внимание будет уделено первому направлению работ – собственно проектированию машинных комплексов и производственных процессов на предприятиях.

Проектирование любой сложной системы начинается с формулирования целей, видения будущей системы и исходных технических требований. Затем согласно теории системного проектирования сложных систем выполняются:

– функционально-структурный анализ системы;

– синтез структуры системы;

– структурный анализ и оптимизация (по критерию сложности) отдельных технических подсистем;

– разработка проектно-конструкторской документации в целом на систему.

Функция системы имеет приоритетное значение по отношению к ее структуре, так как различные структуры могут с разной степенью эффективности реализовать одну и ту же функцию.

Заметим, что сложные технические системы различного назначения (интегрированные мехатронные модули и машины, производственные процессы, интегрированные автоматизированные системы и др.) имеют ряд особенностей, которые необходимо учитывать при их проектировании, производстве, реализации (технологической реализации производства) и эксплуатации.

На всех этапах жизненного цикла технологических изделий и производственных процессов (см. рис. 1.1) используются технологии реинжиниринга и параллельного проектирования, методика SADT и стандарты IDEF-технологий (IDEF0, IDEF3, DFD) для проектирования функциональных моделей системы через их поведение по отношению к внешним объектам и внешней среде.

Для структурного описания систем и связей между их структурными элементами используется методология IDEF1X (задающая структуру баз данных для обеспечения процессов), имитационное моделирование, виртуальная инженерия, системы принятия проектных решений, интегрированные системы CAD/CAM/CAE/PDM.

Из поддерживающих методологию IDEF-систем можно отметить BPWin, ERWin, OOWin, Design IDEF др., а также ряд систем автоматизированного проектирования и управления техническими системами и международных стандартов ISO (STEP-стандарты) (см. лекцию 1).

8.2. Построение модели процесса разработки мехатронных систем

Для описания процесса разработки мехатронных систем (МС) далее будем использовать принятую в САПР терминологию этапов разработки:

1) функциональное проектирование (определение функций МС на основе анализа исходных требований);

2) функционально-структурный анализ (выбор вариантов структурных решений системы по ее заданной функции);

3) конструкторское проектирование элементов и модулей МС по результатам структурно-конструктивного анализа;

4) разработка проектной и конструкторской документации на систему;

5) разработка производства МС (включая технологическую подготовку производства);

6) испытание МС;

7) доводка МС;

8) эксплуатация МС.

Основные этапы проектирования мехатронных систем

Первые три (из перечисленных выше) этапа разработки определяют цикл проектирования (см. рис. 1.1) мехатронных систем. На

этом цикле используются инструментальные средства и методы информационных технологий, которые определяют возможность и уровень разрабатываемых систем. Среди этих методов и средств CALS-технологии, CASE-средства и поддерживающие их инструментальные системы (BPWin, ERWin, Design IDEF и др.), технологии реинжиниринга и параллельного проектирования (методики SADT, IDEF), системные среды Meta САПР (Framework), универсальные CAD/CAM/CAE, PDM, SCADA и другие системы.

В настоящее время актуальной становится задача автоматизации проектирования не отдельных элементов и подсистем, а всего процесса проектирования, конструирования и производства мехатронных систем.

Основными чертами современной технологии создания САПР являются [17]:

– переход к автоматизации всего процесса проектирования в целом;

– обеспечение взаимодействия между автоматизированными системами, ведущими расчеты, разработку, изготовление и т. д.;

– обеспечение возможности адаптации системы к объекту проектирования и развития ее в процессе эксплуатации;

– широкое использование диалоговых режимов работы, процедур коллективного проектирования;

– развитие новой методологии проектирования, ориентированной на сквозное применение средств автоматизации в рамках интегрированных CAD/CAM/CAE-систем, на основе которых создаются «приложения» – специализированные САПР.

Структурная модель МС строится на базе функциональной модели МС, полученной с помощью IDEF-технологий (IDEF0, IDEF1X, DFD) и поддерживающих их систем (BPWin, ERWin, Design IDEF), а также САПР Спрут, имитационного моделирования, систем принятия проектных решений, CALS-технологий. С этой целью функциональную модель МС подвергают декомпозиции на отдельные узлы и детали для технических (конструкционных) мехатронных систем или на отдельные технологические операции для производственных процессов. Далее с помощью интерактивных процедур (например, использования диалоговых

средств), осуществляется оптимизация структурной модели и ее компонентов (см. лекцию 1). Возможность осуществления интерактивного метода конструирования является одним из самых важных требований этапа конструирования. Для автоматизации процесса конструирования должен быть (как минимум) разработан пакет конструирования, состоящий из CAD-систем, обеспечивающих выполнение всего объема конструкторских работ и приложений, интегрированных с выбранными CAD-системами.

Инструментальные средства проектирования мехатронных систем

Далее рассмотрим комплекс инструментальных средств, охватывающих процесс концептуального проектирования (первые три этапа разработки системы) мехатронных систем [16]. На рынке IDEF-систем фирмой Computer Associations предложены CASE-средства BPWin и ERWin. CASE-средство верхнего уровня BPWin поддерживает методологию IDEF0 (функциональная модель), IDEF3 (Workflow Diagram – сценарий бизнес-процесса, поведенческое моделирование) и DFD (Dataflow Diagrams – диаграммы потока данных, набор связанных друг с другом действий).

Функциональная модель предназначена для описания существующих процессов на предприятии (As Is-модели) и того, к чему надо стремиться (модель To Be). Методология IDEF0 предписывает построение иерархической системы диаграмм – единичных описаний фрагментов системы. Сначала проводится описание системы в целом и ее взаимодействие с окружающим миром (контекстная диаграмма), после чего проводится функциональная декомпозиция – система разбивается на подсистемы и каждая подсистема описывается отдельно (диаграмма декомпозиций). Затем каждая подсистема разбивается на более мелкие и так далее до достижения нужной степени подробности. Каждая диаграмма проверяется экспертами предметной области, заказчиками и пользователями процесса. В случае необходимости (чтобы осветить специфические стороны технологии предприятия) BPWin позволяет переключиться на нотацию IDEF3 или DFD и создать

смешанную модель. Нотация DFD включает такие понятия, как внешняя ссылка и хранилище данных, что делает ее более удобной (по сравнению с IDEF0) для моделирования документооборота. Методология IDEF3 включает элемент «перекресток», что позволяет описать логику взаимодействия компонентов системы.

После построения функциональной модели можно построить модель данных, используя модель ERWin. Хотя процесс преобразования модели BPWin в модель данных плохо формализуется и поэтому полностью не автоматизируется, Computer Associations предлагает удобный инструмент для обеспечения построения модели данных на основе функциональной модели (механизм связи BPWin–ERWin). ERWin имеет два уровня представления модели – логический и физический. На логическом уровне данные не связаны с конкретной СУБД, поэтому могут быть наглядно представлены даже не для специалистов. Физический уровень данных – это, по существу, отображение системного каталога, который зависит от конкретной реализации СУБД. ERWin позволяет проводить процессы прямого и обратного проектирования БД. Это означает, что по модели данных можно сгенерировать схему БД или автоматически создать модель данных на основе информации системного каталога. Кроме того, ERWin интегрируется с популярными средствами разработки клиентской части – Power Builder, Visual Basic, Delphi, что позволяет автоматически генерировать код приложения, который полностью готовы к компиляции и выполнению.

В заключение цикла проектирования МС рассмотрим еще одну возможность минимизации сложности МС и мехатронных модулей (ММ).

Синергетическая интеграция в мехатронных системах

В общем случае функциональная и структурная сложность технических систем (подсистем) в значительной степени определяется количеством соединяемых элементов, числом и интенсивностью их взаимодействия. Поэтому оснащение технических систем многофункциональными элементами, повышение уровня

интеграции ММ (подсистем) и снижение числа интерфейсов направлено на минимизацию сложности систем.

Функциональное представление МС и ММ с определенными входными и выходными переменными (модель типа «черный ящик») показано на рис. 8.2.



Рис. 8.2. Мехатронный модуль в виде «черного ящика»

Таким образом, основная функциональная задача мехатронной системы или мехатронного модуля заключается в преобразовании информации о программе движения в целенаправленное управляемое движение выходного звена.

Программа движения может быть задана управляющим компьютером как набор команд высокого уровня или, в случае дистанционного управления, человеком-оператором с помощью человеко-машинного интерфейса. Управляемое движение осуществляется механической подсистемой ММ, и его конечное звено взаимодействует с объектами внешней среды. Внешние воздействия, например силы резания при шлифовальных и фрезерных операциях, контактные силы и моменты при роботизированной сборке, должны эффективно отражаться мехатронным модулем в процессе движения. Информационная обратная связь необходима для оценки текущего состояния ММ как объекта управления и внешней среды в режиме реального времени.

Обозначенная основная функция не является единственной для мехатронных систем. Некоторые дополнительные функции, такие как реконфигурация системы, обмен сигналами и инфор-

мацией с другим технологическим оборудованием, самодиагностика, также должны быть реализованы для эффективной и надежной работы МС. Но именно выполнение функционального движения является основной мехатронной функцией, так как механическая подсистема взаимодействует с объектами работ и, таким образом, определяет поведение МС во внешней среде.

Рассмотренное представление мехатронного модуля в форме «черного ящика» (см. рис. 8.2) имеет два информационных входа (программа движения и информационная обратная связь), энергетический вход (реакция внешней среды) и механический выход (целенаправленное управляемое движение). Следовательно, в общем случае функциональная модель мехатронного модуля может быть определена как *информационно-механический преобразователь*.

Для физической реализации мехатронного информационно-механического преобразования необходим внешний энергетический источник. На современной стадии развития мехатроники для этой цели в основном используют электрические источники энергии. Введя соответствующие электроэнергетические преобразования, получаем следующую функциональную модель (*F*-модель) мехатронного модуля (рис. 8.3):

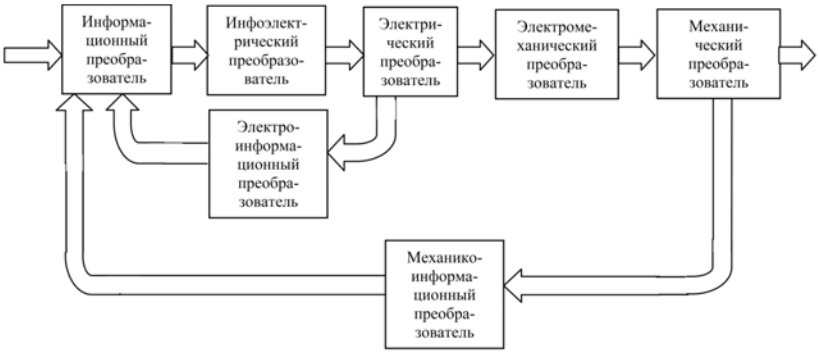


Рис. 8.3. Функциональная модель мехатронного модуля

Полученная *F*-модель ММ в общем случае содержит семь базовых функциональных преобразователей, связанных энергетическими и информационными потоками.

Отметим, что электрическая энергия является только промежуточной энергетической формой между входной информацией и выходным механическим движением. Следовательно, электрическая подсистема отнюдь не является единственно возможной для выполнения мехатронной функции, как это постулировано в приведенном определении мехатроники. Безусловно, и другие виды энергетических процессов могут быть использованы в мехатронных системах для промежуточных преобразований и должны рассматриваться как альтернативные варианты на этапе концептуального проектирования. Выбор разработчиком ММ физической природы промежуточного преобразователя определяется возможностями технической реализации, исходными требованиями и особенностями его применения. В современной инженерной практике широко применяются гидравлические, пневматические, химические и другие виды энергетических преобразователей.

Итак, в любом мехатронном модуле необходимо реализовать семь функциональных преобразований (см. рис. 8.3). Три из них назовем *моноэнергетическими* (информационный, электрический и механический преобразователи), где входные и выходные переменные имеют одну и ту же физическую природу. Остальные четыре являются *дуальными* (двойственными), так как в них входные и выходные переменные принадлежат различным физическим видам. К этой группе относят информационно-электрический и электромеханический преобразователи, расположенные в прямой цепи функциональной модели, и параллельные электроинформационный и механико-информационный преобразователи в цепи обратной связи.

Структурная модель мехатронного модуля должна отражать состав его элементов и связи между ними. В теории автоматического управления и электромеханике принято структурные модели графически представлять в виде блок-схем. Звенья обычно обозначают в виде прямоугольника с указанием входной и выходной переменных, а уравнения или характеристики записывают внутри него.

В качестве исходной структуры ММ рассмотрим традиционный электропривод с компьютерным управлением (*S*-модель –

рис. 8.4). Для дальнейшего анализа в представленной структурной схеме выделим управляющую и электромеханическую подсистемы. При конструировании мехатронных модулей особый интерес представляет исполнительная часть, входящая в состав электромеханической подсистемы.

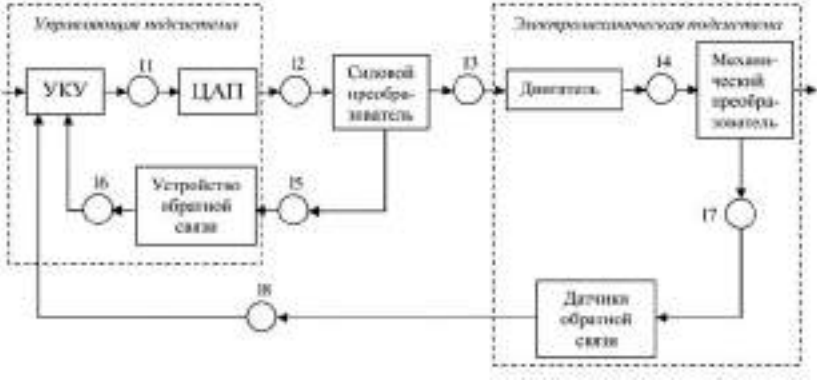


Рис. 8.4. Структурная модель электропривода с компьютерным управлением

Структурная модель электропривода (см. рис. 8.4) включает в себя следующие основные элементы:

– устройство компьютерного управления движением, функциональной задачей которого является информационное преобразование (обработка цифровых сигналов, цифровое регулирование, расчет управляющих воздействий, обмен данными с периферийными устройствами);

– цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), реализующий функцию информационно-электрического преобразования;

– силовой преобразователь, обычно состоящий из усилителя мощности, широтно-импульсного модулятора (ШИМ) и трехфазного инвертора (для асинхронных двигателей);

– управляемый электродвигатель (переменного или постоянного тока), который является электротехническим элементом привода;

– механический преобразователь, который реализует заданное управляемое движение и взаимодействует с внешними

объектами; в приводных модулях в качестве таких устройств применяют редукторы, вариаторы, либо непосредственно используют рабочий орган (например, в мехатронных модулях типа «мотор-шпиндель»);

– устройство обратной связи, которое используют для контроля текущих напряжений и токов в силовом преобразователе, а также управляющих функций (например, для организации контура регулирования момента, развиваемого приводом);

– датчики обратной связи по положению и скорости движения выходного звена механического устройства, выполняющие функции механико-информационного преобразования;

– интерфейсные устройства, обозначенные на блок-схеме как 11–18.

В зависимости от физической природы входных и выходных переменных интерфейсные блоки могут быть как механическими преобразователями движения, так и содержать электронные аппаратно-программные компоненты. Примерами механических интерфейсов являются передачи и трансмиссии, связывающие выходное механическое устройство с двигателем (интерфейс 14) и датчиками обратной связи (интерфейсы 17, 18).

Интерфейсные электронные устройства расположены на входах и выходах устройства компьютерного управления (УКУ) и предназначены для его сопряжения со следующими структурными элементами:

– с цифро-аналоговым преобразователем (встроенный интерфейс 11) и далее с силовым преобразователем модуля (интерфейс 12);

– с датчиками обратной связи (интерфейс 17), который в случае применения сенсоров с аналоговым выходным сигналом строится на основе аналого-цифрового преобразователя (АЦП);

– с устройствами обратной связи для контроля уровня электрических токов и напряжений в силовом преобразователе (для традиционного привода интерфейс 16 также использует стандартный АЦП).

В традиционной приводной технике интерфейсы являются сепаратными устройствами. Поэтому их проектирование, изго-

товление и наладка становятся серьезной проблемой для разработчика привода, особенно когда требуется надежно соединять нестандартные и специализированные элементы различных производителей. Мехатронные структуры отличаются высокой степенью интегрированности элементов, причем эти решения закладываются уже на стадии проектирования модулей и машин.

Сравнивая функциональную модель мехатронного модуля (см. рис. 8.3) и структурную модель традиционного электропривода (см. рис. 8.4), можно сделать вывод о том, что суммарное количество основных и интерфейсных блоков в структуре электропривода значительно превышает число необходимых функциональных преобразователей. Другими словами, можно говорить о структурной избыточности традиционного электропривода. Наличие избыточных блоков приводит к снижению надежности и точности технической системы, ухудшению ее массогабаритных и стоимостных показателей. Поэтому целесообразно стремиться к сокращению количества сепаратных структурных элементов (как основных, так и интерфейсных блоков) в системе. В идеальном для пользователя варианте мехатронный модуль (см. рис. 8.2), приняв на информационный вход программу движения, должен выполнить целенаправленное управляемое движение с заданными показателями качества. При этом все проблемы интеграции в модуле механических, электронных и управляющих устройств должны быть решены разработчиком для каждой стадии жизненного цикла – от проектирования системы до ее эксплуатации у конечного потребителя.

Суть синергетической интеграции состоит в объединении в единый модуль элементов различной физической природы при сохранении функционального преобразования, выполняемого данным модулем.

Синергетическая интеграция элементов при проектировании мехатронных модулей основана на трех базовых принципах:

– реализация заданных функциональных преобразований минимально возможным числом структурных и конструктивных блоков путем объединения двух и более элементов в единые многофункциональные модули;

– выбор интерфейсов в качестве локальных точек интеграции и исключение избыточных структурных блоков и интерфейсов как сепаратных элементов;

– перераспределение функциональной нагрузки в мехатронной системе от аппаратных блоков к интеллектуальным (электронным и компьютерным) компонентам.

Практическая реализация принципов синергетической интеграции при проектировании позволяет обеспечить основные преимущества мехатронных систем по сравнению с традиционными машинами и добиться качественно новых показателей, в первую очередь по компактности конструкции, скорости и точности движений. Снятие с аппаратной («железной») части системы функциональной нагрузки (прежде всего через упрощение механического узла) и ее перенос на управляющую и электронную подсистемы придает системе гибкость, делает ее способной к легкой реконфигурации под новые технологические задачи. Следует заметить, что интеграция предполагает не только аппаратное объединение элементов, но и организацию интегрированных информационных процессов в интеллектуальных модулях.

Синергетическую интеграцию в мехатронике осуществляют при проектировании двумя основными способами – функционально-структурной интеграцией (ФС-интеграция) и структурно-конструктивной интеграцией (СК-интеграция), которые объединяют в общий алгоритм проектирования мехатронных систем (см. рис. 8.2).

Функционально-структурная интеграция. Задачей этапа функционально-структурной интеграции является поиск мехатронных структур, реализующих заданные функциональные преобразования с помощью минимального количества структурных блоков. ФС-интеграция направлена на выбор проектных решений, которые обеспечивают исключение некоторых основных блоков, а значит, и смежных с ними интерфейсов из структуры системы.

Примеры мехатронных проектных решений, основанные на способе ФС-интеграции элементов, приведены в табл. 8.1. Пред-

ставленные решения основаны на совместном анализе функциональной модели мехатронного модуля (см. рис. 8.3) и структуры традиционного электропривода (см. рис. 8.4).

Первые два мехатронных решения относятся к электромеханической подсистеме модуля, следующие варианты интеграции можно реализовать в его управляющей подсистеме (см. рис. 8.4). При конструировании мехатронных модулей наибольшее внимание уделяют решениям, направленным на упрощение механической части модулей и связанных с ней блоков и интерфейсов, которые реализуют электромеханическое и механико-информационное функциональные преобразования.

Рассмотрим подробнее мехатронные решения по ФС-интеграции элементов из табл. 8.1.

Первый вариант предусматривает использование в обратной связи вместо двух отдельных датчиков положения и скорости только одного элемента – фотоимпульсного датчика (ФИД), который позволяет получать информацию и о угле поворота вала, и о скорости его вращения. При этом также важно, что ФИД выдает выходной сигнал в кодовой форме, что дает возможность вводить информацию в УКУ без дополнительного аналого-цифрового преобразователя (АЦП), что было необходимо для традиционных датчиков с аналоговым выходным сигналом (тахогенераторов, потенциометров и т. п.).

Различают два основных вида фотоимпульсных датчиков – *абсолютные* и *инкрементальные*. Абсолютные ФИД (*encoder*) дают информацию о величине перемещения (линейного или углового) подвижного элемента относительно фиксированного нулевого положения. Преимуществами абсолютного ФИД являются надежность измерения (даже при временном отключении питания информация датчиком не будет потеряна), высокая точность при больших скоростях движения, запоминание нулевого положения (это важно при необходимости управления реверсивными и аварийными движениями машин). Инкрементальный датчик дает информацию о направлении и величине перемещения в приращениях относительно исходного положения, которое он занимал до начала движения.

Таблица 8.1

ФС-интеграция элементов в мехатронном модуле

№ п/п	Мехатронное решение	Функциональное преобразование	Исключаемые сепаратные элементы	
			Основные блоки	Интерфейсы
1	Фотоимпульсный датчик обратной связи	Механико-информационное	Один датчик обратной связи	17, 18
2	Вентильный высокомоментный двигатель	Электромеханическое и механико-информационное	Механическое устройство, сепаратные датчики обратной связи	14, 17, 18
3	Интеллектуальный силовой преобразователь	Информационно-электрическое	Избыточное устройство обратной связи	15, 16
4	Управляющие контроллеры на базе блоков FPGA	Электроинформационное	Цифро-аналоговый преобразователь	11, 12

Интеллектуализацию ФИД обеспечивают встроенными микропроцессорами, которые выполняют следующие основные функции: кодирование информации датчика, обнаружение ошибок измерения, масштабирование сигнала и передачи текущего кода в контроллер движения по стандартному протоколу. Современная тенденция в создании ФИД заключается в объединении в одном сенсорном модуле конструктивных элементов (валов, подшипников), кодировочных дисков, фотоэлементов и микропроцессора.

Таким образом, использование ФИД позволяет исключить из структуры традиционного привода один датчик обратной связи с его интерфейсом (17), а также АЦП на входе УКУ (интерфейс 18).

Применение высокомоментного двигателя (ВМД) позволяет (второе решение в табл. 8.1) заменить исполнительную пару

«двигатель + преобразователь движения» на один приводной элемент «двигатель». Этот способ ФС-интеграции означает исключение механического устройства и избыточного интерфейса 14 из структуры привода.

Ниже перечислены основные преимущества мехатронных модулей с ВМД:

– снижение материалоемкости, компактность и модульность конструкции;

– повышенные точностные характеристики привода благодаря отсутствию зазоров, кинематических погрешностей, упругих деформаций звеньев и т. д.;

– исключение трения в механической трансмиссии, что позволяет избежать нелинейных динамических эффектов, особенно на ползучих скоростях.

Для определения положения полюсов на роторе двигателя в конструкцию вентильного ВМД встраивают датчик положения. В исполнительных приводах информацию с этого датчика могут использовать и как сигнал обратной связи. Следовательно, применение вентильных ВМД со встроенными ФИД позволяет упростить не только механическую часть модуля, но и цепь обратной связи, так как разработчику не требуется вводить в конструкцию модуля сепаратные датчики положения и скорости.

ВМД могут быть как углового, так и линейного типа. До появления линейных двигателей традиционные электроприводы линейных перемещений включали в себя двигатель углового движения и механическую передачу для преобразования вращательного движения в поступательное (шарико-винтовую передачу, зубчатую рейку, ленточную передачу и т. п.). Основные преимущества мехатронных модулей на базе линейных двигателей по сравнению с традиционными приводами обусловлены исключением многоступенчатого преобразования движения, отсутствием характерных недостатков механических преобразователей (люфт, упругость, силы трения, высокая инерция). Это позволяет добиться повышения в несколько раз линейной скорости и ускорения, высокой точности реализации движения, повышенной статической и динамической жесткости привода.

В табл. 8.1 приведены также два примера применения способа ФС-интеграции к элементам управляющей подсистемы модуля.

В состав мехатронных модулей могут входить интеллектуальные силовые преобразователи (ИСП). Их строят на базе полупроводниковых приборов нового поколения. Типичными представителями этих приборов являются силовые полевые транзисторы (*MOSFET*), биполярные транзисторы с изолированным затвором (*IGBT*), запираемые тиристоры с полевым управлением (*MCT*). Новое поколение приборов отличается высоким быстродействием (например, для транзисторов *MOSFET* – 100 000 Гц), высокими значениями коммутируемых токов и напряжений (для *IGBT* предельная сила коммутируемого тока – до 1200 А, предельное коммутируемое напряжение – до 3 500 В). Особенность ИСП состоит в том, что они содержат встроенные блоки микроэлектроники, предназначенные для выполнения интеллектуальных функций – управление движением, защита в аварийных режимах и диагностика неисправностей. Использование ИСП в составе мехатронных модулей позволяет существенно снизить массогабаритные показатели силовых преобразователей, повысить их надежность при эксплуатации, улучшить технико-экономические показатели.

Использование контроллеров движения с блоками FPGA (*Field Programmable Gate Arrays*) позволяет исключить цифро-аналоговое преобразование сигналов при компьютерном управлении двигателем. На выходе блоков FPGA сразу формируется широтно-модулированный сигнал, который имеет цифровое представление. При этом они обладают уникальным сочетанием очень высокой производительности (скорость вычислений соизмерима с аппаратными компонентами) с возможностью программирования как обычные микропроцессорные устройства.

Обобщая рассмотренные примеры, интересно обратить внимание на то, что точками для ФС-инитеграции являются структурные блоки, реализующие функциональные преобразования только дуального типа (см. третий столбец табл. 8.1). К этой группе относят информационно-электрический и электромеханический преобразователи, расположенные в прямой цепи

функциональной модели мехатронного модуля (см. рис. 8.3) и электроинформационный и механико-информационный преобразователи в цепи обратной связи.

Структурно-конструктивная интеграция (СК-интеграция) основана на анализе структурной модели мехатронного модуля, которая сформирована на этапе ФС-интеграции. Заданная структура модуля может быть реализована различными конструктивными решениями. СК-интеграция нацеливает разработчика мехатронных модулей на выбор проектных решений, которые обеспечивают исключение интерфейсов как сепаратных блоков путем встраивания их в отдельный корпус. При автоматизированном проектировании принятые решения представляют в виде конструктивной модели.

Методическим ключом при поиске вариантов СК-интеграции является рассмотрение интерфейсных блоков 11–18 в качестве локальных точек, где потенциально возможна СК-интеграция. Можно рекомендовать при проектировании опираться сразу на несколько точек интеграции.

Таблица 8.2

СК-интеграция элементов в мехатронном модуле

№ п/п	Мехатронные модули	Функциональное преобразование	Встраиваемые элементы	
			Основные блоки	Интерфейсы
1	Модуль движения	Электромеханическое и механическое	Двигатель, механическое устройство	14
2	Мехатронный модуль движения	Электромеханическое, механическое и механико-информационное	Двигатели, механическое устройство, датчик обратной связи	14, 17, 18
3	Интеллектуальный мехатронный модуль	Информационное, информационно-электрическое, электрическое, электромеханическое	Управляющий контроллер, силовой преобразователь, двигатель	11, 12, 13, 15, 16

Примеры мехатронных модулей, основанных на способе СК-интеграции элементов, приведены в табл. 8.2. Представленные решения базируются на анализе структурных моделей мехатронных модулей, разработанных на этапе функционально-структурной интеграции (см. рис. 8.4).

Интеграция элементов в мехатронных модулях является ведущей тенденцией при создании современных машин и систем, так как позволяет добиться качественно нового уровня по основным техническим показателям – скорости и точности движения, компактности конструкции и способности машины к быстрой реконфигурации. Практическое воплощение этой тенденции в машинах сегодняшнего дня зависит от эффективности взаимодействия конструктора, который выдвигает новые интеграционные идеи, и технолога, реализующего предложенные проектные решения в автоматизированных технологических процессах.

Специфика и сложность мехатронных модулей и систем заключается еще и в том, что их составляющие части (механическая, электронная и компьютерная) имеют различную физическую природу, а основные структурные элементы выпускаются зачастую предприятиями различных отраслей промышленности.

Разработка проектной и конструкторской документации

Процесс проектирования и конструирования мехатронной системы завершается разработкой проектной и конструкторской документации на систему, относится к *четвертому* этапу разработки системы.

Конструкторская документация (КД) подразделяется на проектную и рабочую.

Проектная конструкторская документация (ПКД) выполняется на различных стадиях реализации проекта в соответствии с техническим заданием (ТЗ), разработанным на предпроектной стадии (см. рис. 3.2), до разработки рабочей документации. В состав проектной документации входят: техническое предложение, эскизный и технический проекты. Состав и номенклатура документов,

входящих в техническое предложение, эскизный и технический проекты подробно изложены в лекции 3 (раздел 3.2).

Рабочая конструкторская документация (РКД) разрабатывается на основе технического задания или проектной конструкторской документации и предназначается для обеспечения монтажа, изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта технических изделий (производственных процессов). Следует отметь, что выпуск и корректировка РКД обычно продолжается и на всех последующих этапах разработки и эксплуатации технической системы.

Четыре последние этапа (5, 6, 7, 8) (см. раздел 8.2) разработки мехатронных систем относятся к процессам подготовки, реализации и эксплуатации мехатронных систем (см. раздел 1.1, лекция 1). Сюда же можно отнести и процессы управления промышленными предприятиями на различных иерархических уровнях.

Основные положения этапа 5 «Разработка производства мехатронных систем (включая технологическую подготовку производства)» были рассмотрены в лекции 4 (раздел 4.1). Разработка больших производственных систем включает следующие виды работ:

– разработка производственных процессов, объединенных в производственную систему;

– разработка технологических процессов, входящих в состав производственных процессов;

– разработка технологических операций, на которые делится технологический процесс;

– разработка локальных систем управления отдельными процессами;

– разработка интегрированной информационной системы для автоматизации технологической подготовки и управления производственными системами и процессами;

– оптимизация технологических и производственных процессов;

– решение ряда инженерных задач.

Работы, связанные с выполнением 6 и 7 этапов, соответственно «Испытание» и «Доводка» мехатронных систем, в данном курсе лекций не рассматриваются.

Последний 8-й этап разработки мехатронных систем «Эксплуатация мехатронных систем» будет рассмотрен в лекции 9 в тесной увязке с этапом «Производство и реализация» жизненного цикла мехатронной системы (см. лекция 1, рис. 1.1). Основное внимание будет уделено автоматизированным системам управления промышленных предприятий, на которых реализуются производственные процессы.

Контрольные вопросы

1. Опишите традиционный алгоритм проектирования.
2. Сформируйте четыре уровня интеграции в мехатронных системах.
3. Разберите два направления проектных и конструкторских работ при проектировании и изготовлении мехатронных систем.
4. Опишите общую схему проектирования любой сложной системы.
5. Перечислите восемь этапов процесса разработки мехатронных систем (с выделением этапов, определяющих цикл проектирования).
6. Опишите инструментальные средства и методы информационных технологий, используемые при выполнении цикла проектирования.
7. Рассмотрите представление мехатронного модуля в форме «черного ящика».
8. Сформулируйте основную функциональную задачу мехатронной системы (или мехатронного модуля). Другие дополнительные функции мехатронных систем.
9. Опишите функциональную модель мехатронного модуля (F-модель).
10. Опишите структурную модель электропривода с компьютерным управлением (S-модель мехатронного модуля).
11. Сформулируйте суть синергетической интеграции элементов при проектировании мехатронных модулей. Рассмотрите три базовых принципа синергетической интеграции.

12. Сформулируйте суть функционально-структурной (ФС) и структурно-конструктивной (СК) синергетической интеграции.

13. Сформулируйте основную задачу этапа функционально-структурной интеграции (ФС-интеграция).

14. Рассмотрите мехатронные решения по функционально-структурной интеграции элементов из табл. 8.1.

15. Сформулируйте основную задачу этапа структурно-конструкторской интеграции (СК-интеграция).

16. Рассмотрите примеры мехатронных модулей, основанных на способе СК-интеграции (табл. 8.2).

Лекция 9
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМИ ПРОИЗВОДСТВАМИ [1, 3, 18]

Мехатронные производства имеют иерархическую многомодульную структуру и соответствующие этой структуре автоматизированные системы управления (АСУ). Среди АСУ различают автоматизированные системы управления предприятием (АСУП) и автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП).

9.1. Автоматизация управления предприятиями (АСУП)

В большинстве случаев АСУП охватывают уровни от предприятия до цеха.

Функции АСУП на промышленных предприятиях выполняют следующие автоматизированные системы (на различных иерархических уровнях) (см. лекцию 1, раздел 1.1):

ERP – Enterprise Resource Planning (планирование и управление предприятием);

MRP (MRP-II) – Manufacturing (Material) Requirement Planning (планирование производственных (материальных) ресурсов);

MES – Manufacturing Execution System (производственная исполнительная система);

DRP – Distribution Resource Planning (управление маркетинговыми мероприятиями и обработкой заказов);

FRP – Finance Requirements Planning (финансовый учет и планирование);

PM – Project Management (управление проектами).

Имеется ряд автоматизированных систем (АС):

CRM–$5ustomer Relationship Management (управление продажами), SCM – Supply Chain Management (управление цепочками поставок), S&SM – Sales and Service Management (управление продажами и обслуживанием). Эти АС могут быть отнесены как к АСУП, так и к логистическим системам, которые будут рассмотрены ниже.

Исторически первоначально был разработан стандарт MRP. Он появился в конце 60-х гг. Стандарт MRP включал в себя только планирование потребностей в материалах по замкнутому циклу. Затем стандарт MRP был расширен до MRP-II. Это позволило планировать все производственные ресурсы предприятия на основе данных, полученных от поставщиков и потребителей. Но этого оказалось недостаточно, и появился стандарт ERP, объединяющий возможности MRP и MRP-II, а также возможности стандартов DRP и FRP. Однако ERP-системы имеют явный крен в сторону автоматизации и стандартизации финансовых и учетно-хозяйственных функций производственных процессов и не обеспечивают интегрированного решения задач технологической подготовки производствами с его оперативным управлением, ограничиваясь только стратегическим планированием, а также между уровнем ERP и уровнем технологической подготовки и оперативного управления производством. В результате оказывается не охваченным информационными технологиями целый класс жизненно важных для предприятия производственных процессов.

Опыт внедрения ERP показал, что при создании действительно интегрированной системы управления предприятием в первую очередь необходимо решить в едином информационном пространстве (ЕИП) взаимоувязанные задачи автоматизации технологической подготовки и оперативного управления производством.

В настоящее время создание интегрированных информационных систем управления промышленными предприятиями реализуется на базе CALS-технологий, которые в гражданской

промышленности называются PLM-системами (PLM – Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом изделий).

Автоматизированные информационные системы (АИС) класса PLM включают в свой состав PDM-системы в качестве электронного архива и технологического документооборота (workflow).

В [18] приведены зарубежные и российские компании-разработчики АИС-систем класса PLM. Среди российских компаний-разработчиков следует выделить: «Аскон», «Топ Системы», НПП «Интермех» (г. Минск), «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ). Все эти компании разрабатывают АИС-системы класса PLM с программным обеспечением (ПО), позволяющим интегрировать в состав АИС-систем автоматизированные системы (АС), САПР: CAD, CAM, CAE.

На повестку дня поставлена задача определения базовых информационных технологий ИАИС (интегрированная автоматизированная информационная система) для алгоритмического и программного обеспечения функций CAD/CAM/CAE/PDM/FRP/MRP/MES-систем в ЕИП предприятия.

В настоящее время системами корпоративного управления и учета для планирования материальных ресурсов (MRP и MRP-II), управления технической информацией (TIM), электронной почтой, маршрутизацией документов при коллективной работе и т. д. являются: R|3, BAAN, AVALON9 (CIM) MANMAN/X, MMI, SOCAP, TRITON, а также STAFFWARE, SCALA и Lotus Notes. Самой крупной интегрированной системой этого класса является R|3.

9.2. Автоматизация управления технологическими процессами (АСУТП)

Системы АСУТП охватывают уровень от цеха и ниже. Однако в АСУТП могут быть включены и межцеховые связи, если управление единым производственным процессом выполняется в нескольких цехах. Эти системы часто называют системами промышленной автоматики, или встроенными системами (Embedded Systems).

В состав АСУТП входят автоматизированные системы:

– SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition (диспетчерское управление производственными процессами);

– CNC – Computer Numerical Control (компьютерное численное управление).

Система SCADA на верхнем иерархическом уровне АСУТП выполняет диспетчерские функции:

– сбор и обработка данных о состоянии оборудования;

– контроль протекания технологических процессов;

– выполняет роль инструментальной системы разработки ПО для встроенного в состав АСУТП оборудования компьютерной автоматизации;

– управление и регистрация аварийных сигналов (алармов);

– связь с корпоративной информационной сетью.

SCADA-системы состоят из терминальных компонентов, диспетчерских пунктов и каналов связи. Связь с контроллерами и приложениями в SCADA-системах обычно осуществляется посредством технологий: DDE – Dynamic Data Exchange (обмен данными), OLE – Object Linking and Embedding Technology (связывание и внедрение объектов), ODBC – Open Database Connectivity (открытый доступ к базам данных). В качестве каналов связи используют последовательные промышленные шины Profibus, CANbus, Foundation Fieldbus и др.

Разработка программ для программируемых контроллеров выполняется на языках C/C++, VBA – Visual basic для приложений или оригинальных языках, разработанных для конкретных систем. Ряд языков стандартизован и представлен в международном стандарте IEC 1131–3.

Известные SCADA-системы:

– Citect (компания Ci Technology), работающая в среде Windows;

– Trace Mode (компания AdAstra), операционные системы QNX, OS9, Windows;

– LabView SCADA (компания National Instruments).

Функциями систем MES являются анализ производственных процессов, их оптимизация, управление ресурсами и расходом

материалов, анализ простоя оборудования, диагностика и предупреждение поломок оборудования, контроль и управление качеством продукции, формирование отчетов о производстве для передачи на уровень ERP.

Функции MES близки по некоторым выполняемым функциям к системам ERP, PDM, SCM, S&SM и отличаются от них именно оперативностью, принятием решений в реальном времени, причем большое значение придается оптимизации этих решений с учетом текущей информации о состоянии оборудования и процессов.

В настоящее время наблюдается интеграция АСУП и АСУТП, ранее развивающихся автономно. Использование информации непосредственно от технологических процессов позволяет более рационально планировать производство и управлять предприятием за счет использования на этих уровнях общих программных средств, баз данных, сетей Industrial Ethernet и др.

На уровне управления технологическим оборудованием (запуск, тестирование, выключение оборудования, сигнализация о неисправностях, выработка управляющих воздействий для программно управляемого оборудования) используются программируемые контроллеры с системой CNC. Эти контроллеры обычно встраиваются в технологическое оборудование.

Техническое обеспечение АСУТП представлено персональными ЭВМ (в промышленном исполнении), контроллерами CNC, микрокомпьютерами PLC, распределенными по контролируемым участкам производства, связанными друг с другом с помощью промышленных шин.

9.3. Информационные логистические системы

Логистические задачи занимают значительное место среди задач, решаемых при организации управления сложными производственными системами.

Исторически в начале логистику связывали с управлением процедурами движения сырья и готовой продукции, их склади-

рованием и движением к месту потребления. Логистика формировалась как «наука об организации совместной деятельности менеджеров различных подразделений предприятия, а также группы предприятий по эффективному продвижению продукции по цепи «закупка сырья – производство продукции – сбыт – распределение» на основе интеграции и координации операций, процедур и функций, выполняемых в рамках данного процесса с целью минимизации общих затрат ресурсов». По существу, логистика выполняла функции подсистемы АСУП.

В 1974 г. международный конгресс по логистике предложил более широкое определение логистики «как науки о планировании, управлении и контроле за движением материальных, информационных и финансовых ресурсов в различных системах».

Затем появился термин «информационная логистика», под которым понимают организацию и использование систем информационного обеспечения производственно-хозяйственных процессов на предприятии. Объект информационной логистики – информационные потоки, сопровождающие материальные потоки.

Информационная логистика наиболее актуальна для автоматизированных систем проектирования (САПР) и управления, оперирующих информационными ресурсами, например в виде потоков документов (в различных формах), порождаемых материальными потоками и сопровождающих материальные потоки. Информационная логистика охватывает все виды деятельности, связанные с планированием и управлением процессами, нацеленными на обеспечение предприятия релевантной информацией.

В процессе проектирования мехатронных изделий или систем вся информация по проекту хранится в банке изделия, но возникает проблема с ее доставкой на рабочее место исполнителя. Возможностей СУБД для этого уже недостаточно. Более эффективные методы управления информацией оформлены в виде международных стандартов группы STEP (ISO 10303) CALS-системы. Такие методы составляют суть современной информационной логистики. Вместо логистической системы нередко

используются родственные ей системы управления разработками (проектами), например PDM-система управления проектными данными [10].

Создание логистической системы для САПР, обеспечивающей разработку или модернизацию сложных технических систем, начинается с описания предполагаемого изделия (входящих в его состав узлов (подсистем) и связей между ними) на специальном алгоритмическом языке EXPRESS, имеющимся в ISO 10303 (см. лекцию 7). При этом производится декомпозиция изделия – детальная функциональная и формируется структура информации, передаваемой по всем предусмотренным типам связи.

Полученная выше система пока обеспечивает только управление потоками информации. В ней не содержится никаких расчетов. Все расчеты, конструирование, анализ полученной информации, ее визуализация и прочая работа, необходимая для создания изделия, выполняется в отдельных модулях. Модули создаются на базе существующих САПР. Модули должны быть оформлены в виде самостоятельных программ со стандартными интерфейсами, предусмотренными в логистической системе. К числу таких модулей относятся системы ERP, SCM, CRM, PDM и др.

Вся созданная система размещается в локальной сети, например типа клиент-сервер. В этом случае все версии банка изделия и банка знаний размещаются на достаточно мощном сервере (типа Cray-3). В этом случае число клиентов в сети может измеряться сотнями.

Затем разрабатывается схема процесса проектирования изделия и начинается проектирование изделия.

В [10] более подробно описывается технология проектирования и последующая работа над изделием.

Логическим решением разработки информационных логистических систем является создание интегрированной автоматизированной системы управления (ИАИСУ), обеспечивающей информационное взаимодействие всех участников проекта.

9.4. Автоматизированные системы делопроизводства

В связи с переходом машиностроительной промышленности от серийного к мелкосерийному производству значительно возросла номенклатура выпускаемых предприятиями наукоемких изделий, что привело к многократному росту объема технической информации и документооборота.

На этапах конструкторской и технологической подготовки производства ведется коллективная работа с большим объемом документации, которая представлена в разных форматах (текстовые документы, чертежи, спецификации, отчеты, таблицы и т. д.) и разрабатываются в разных автоматизированных информационных системах (АИС) с использованием различных методов проектирования и типов сопровождающих их данных (твердотельные 3D модели, схемы печатных плат, программы для ЧПУ и т. д.).

Существует достаточно большое количество критериев классификации автоматизированных систем делопроизводства (АСД) по целевому назначению, приложению, масштабам:

- системы управления документами (СУД);
- системы управления документооборотом (СДО);
- инструментальные среды делопроизводства;
- специализированные и комплексные системы;
- локальные и распределенные системы;
- заказные и тиражируемые системы;
- фактографические и полнотекстовые системы;
- системы управления техническими данными (TDM);
- офисные системы делопроизводства;
- системы управления знаниями.

Отличия TDM от офисных АСД заключается в большом количестве чертежной документации и в тесной взаимосвязи с САПР.

Системы управления документами (СУД) предназначены для обеспечения санкционированного доступа к документам.

Систему управления документооборотом служат для управления деловыми процессами прохождения и обработки документов в соответствующих подразделениях и службах предприятия.

К системам управления знаниями в области делопроизводства относятся системы, выполняющие функции, характерные для интеллектуальных систем (классификация документов, телематический отбор документов, аналитическая обработка данных, моделирование деловых процессов).

Инструментальные среды в системах делопроизводства служат для формирования АСД, адаптированных к условиям конкретных предприятий и фирм. Ряд других задач, решаемых АСД, описан в [3, 18].

Основными компонентами СУД и СДО являются:

- электронный архив;
- система маршрутизации документов;
- контроль исполнения;
- модули сопровождения с прикладными программами;
- средства ввода информации.

В крупных АСД предусматривается распределенное хранение с доступом к документам в режимах off-line и on-line.

Современные системы делопроизводства являются распределенными, имеющими архитектуру клиент-сервер. На серверной стороне применяются серверы баз данных полнотекстовых документов, электронной почты, приложений SQL- и Web-серверы. На клиентской стороне – рабочие места пользователей.

К широкоизвестным СДО и АСД относятся Lotus Notes, Docs Open и др. примерами TDM служат Search или T-Flex Docs (на небольшое число пользователей) и системы документооборота, используемые в PDM Optegra или iMAN (для большого числа пользователей).

Контрольные вопросы

1. Перечислите автоматизированные системы, выполняющие функции АСУП на промышленных предприятиях.
2. Опишите стандарт MRP, входящий в АСУП.
3. Опишите стандарт MRP-II, входящий в АСУП.
4. Перечислите самые крупные интегрированные автоматизированные информационные системы (ИАИС).

5. Перечислите автоматизированные системы, выполняющие функции АСУП.

6. Укажите автоматизированные системы, выполняющие функции АСУТП.

7. Перечислите функции системы SCADA.

8. Перечислите известные SCADA-системы.

9. Опишите функции MES-систем.

10. В чем выражается интеграция АСУП и АСУТП?

11. Опишите историю развития логистических систем.

12. Дайте определение понятию «информационная логистика».

13. Укажите область применения информационной логистики.

14. Опишите порядок создания логистической системы для САПР.

15. Перечислите критерии классификации автоматизированных систем делопроизводства (АСД).

Опишите основные компоненты систем управления документами (СУД) и систем управления документооборотом (СДО).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, мы рассмотрели курс лекций, посвященных изучению основ дисциплины «Информационная поддержка мехатронных комплексов и производств», являющейся базовой составляющей более общей дисциплины «Проектирование мехатронных систем».

Данный курс лекций составляет в совокупности основу знаний в области информационного обеспечения разработки сложных (мехатронных) систем различного назначения и позволяет оценить роль информационного обеспечения при современном подходе к проектированию любых сложных технических систем.

Авторы не обещают, что прочитав эту книгу, студент сможет непосредственно притупить к разработке мехатронных систем (в лекциях основное внимание уделено только общим подходам к решению этой проблемы). Но авторы уверены, что студент будет подготовлен к дальнейшему самостоятельному углубленному изучению специальной технической литературы по всем аспектам, связанным с разработкой сложных технических и организационных систем.

Желаем вам больших успехов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Норенков И. П. К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И. П. Норенков, П. К. Кузьмик. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 320 с.
2. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа / Н. Н. Моисеев. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 488 с.
3. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования : учеб. для вузов / И. П. Норенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2002. – 336 с.
4. Готлиб Б. М. Технология автоматизированного машиностроения : учеб. пособие : в 2 т. / Б. М. Готлиб, А. А. Вакалюк, М. Б. Готлиб. – Т. 2. Автоматизированные высокоэнергетические технологические процессы точного машиностроения. – Екатеринбург : УрГУПС. – 2012. – 230 с.
5. Юревич Е. И. Основы робототехники : учеб. пособие / Е. И. Юревич. – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2010. – 308 с.
6. Черемных С. В. структурный анализ систем: IDEF-технологии / С. В. Черемных, И. О. Семенов, В. С. Ручкин. – М. : Финансы и статистика, 2001. – 208 с.
7. Леопенков А. В. Самоучитель UML / А. В. Леопенков. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 432 с.
8. Бенькович Е. С. Практическое моделирование динамических систем / Е. С. Бенькович, Ю. Б. Колесов, Ю. Б. Сениченков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 464 с.
9. Ли Кунву. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / Ли Кунву. – СПб. : Питер, 2004. – 560 с.
10. Тунаков А. П. САПР газотурбинных двигателей : учеб. пособие / А. П. Тунаков, И. А. Кривошеев, Д. А. Ахмедзянов. – Уфа : УГАТУ, 2005. – 272 с.
11. Кривошеев И. А. Формализация процесса проектирования и доводки двигателей с использованием CASE-технологии / И. А. Кривошеев. – М. : Изд-во «МАИ», 2008. – 128 с.

12. Лукинов А. П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств : учеб. пособие / А. П. Лукинов. – СПб. : Изд-во «Лань», 2012. – 608 с.
13. Подураев Ю. В. Мехатроника: основы, методы, применение : учеб. пособие для студентов вузов / Ю. В. Подураев. – М. : Машиностроение, 2006. – 256 с.
14. Егоров О. Д. Мехатронные модули. Расчет и конструирование : учеб. пособие / О. Д. Егоров, Ю. В. Подураев. – М. : МГТУ «Станкин», 2004. – 360 с.
15. Марка Д. Методология структурного анализа и проектирования / Д. Марка, К. МакГоуэн. – М. : Метатехнология, 1992. – 239 с.
16. Файзрахманов Р. А. Структурно-функциональный подход к проектированию информационных технологий и автоматизированных систем с использованием CASE-средств / Р. А. Файзрахманов, К. А. Селезнев. – Пермь : ПГТУ, 2005. – 245 с.
17. Кривошеев И. А. Компьютерное моделирование в инновационном проектировании авиационных двигателей / И. А. Кривошеев, С. Г. Селиванов. – М. : Машиностроение, 2010. – 330 с.
18. Кульга К. С. Модели и методы создания интегрированной информационной системы для автоматизации технологической подготовки и управления авиационным и машиностроительным производством : монография / К. С. Кульга, И. А. Кривошеев. – М. : Машиностроение, 2011. – 377 с.
19. Кривошеев И. А. Общая структура автоматизированной разработки авиационных двигателей и энергоустановок / И. А. Кривошеев. – М. : Машиностроение, 2009. – 265 с.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.В.12 МЕЖДУНАРОДНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

Направление -
15.03.06 Мехатроника и робототехника
Профиль -
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией факультета
Технической механики	Горно-механического
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____ *(подпись)*	Председатель _____ *(подпись)*
Волков Е.Б.	Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 15.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....4
Методические рекомендации для самостоятельной работы 5
Методические рекомендации для практических занятий..... 7
Методические рекомендации для выполнения контрольной работы.. 11
Библиографический список.....14

ВВЕДЕНИЕ

Обшей тенденцией развития науки и техники последнего столетия явственно выступает интеграция наук, преодоление принципа декомпозиции, стремление к системному подходу. Свидетельством этому является возникновение новых научно-технических направлений, таких, как кибернетика, бионика, системотехника и мехатроника, которая базируется на системных знаниях в областях механики, электроники и компьютерного управления функциональными движениями.

Именно концепция мехатроники наиболее полно отражает глобальную тенденцию интеграции всех функциональных компонентов технических систем вплоть до их конструктивного слияния в виде единых конструкций современных автоматических и автоматизированных систем и комплексов на основе решения двух, тоже общих, проблем развития техники в целом – миниатюризации и интеллектуализации.

Мехатроника является новой и динамично развивающейся отраслью науки и техники. Она базируется на знаниях и достижениях в областях механики, электроники и компьютерного управления и представляет собой более высокий уровень развития современного машиностроения.

Основной целью дисциплины «Международный инжиниринг» является подготовка студентов к научно-исследовательской деятельности посредством обеспечения этапов формирования соответствующих компетенций. Наряду с практической целью курс ставит образовательные и воспитательные цели. Достижение этих целей означает расширение кругозора студентов, повышение уровня их общей культуры и образования, а также культуры мышления, общения и речи и проявляется в готовности студента содействовать налаживанию межкультурных, профессиональных связей.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Самостоятельная работа – это вид учебной деятельности, выполняемый студентом без непосредственного контакта с преподавателем или управляемый преподавателем опосредовано через специальные учебные материалы; неотъемлемое обязательное звено процесса обучения, предусматривающее, прежде всего, индивидуальную работу студентов в соответствии с установкой преподавателя или учебника, программы обучения.

В процессе самостоятельной деятельности студент должен научиться выделять познавательные задачи, выбирать способы их решения, выполнять операции контроля за правильностью решения поставленной задачи, совершенствовать навыки реализации теоретических знаний.

Самостоятельная работа студента под руководством преподавателя протекает в форме делового взаимодействия: студент получает непосредственные указания, рекомендации преподавателя об организации самостоятельной деятельности, а преподаватель выполняет функцию управления через учет, контроль и коррекцию ошибочных действий.

Успешность самостоятельной работы в первую очередь определяется степенью подготовленности студента. По своей сути самостоятельная работа предполагает максимальную активность студентов в различных аспектах: организации умственного труда, поиске информации, стремлении сделать знания убеждениями. Психологические предпосылки развития самостоятельности студентов заключаются в их успехах в учебе, положительном к ней отношении, заинтересованности и увлеченности предметом, пони мании того, что при правильной организации самостоятельной работы приобретаются навыки и опыт творческой деятельности.

Самостоятельная работа обучающихся является составной частью учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, поиск и приобретение новых знаний, в том числе с использованием автоматизированных обучающих систем, а также выполнение учебных заданий, подготовку к предстоящим занятиям, зачетам и экзаменам.

Самостоятельная работа предназначена не только для овладения дисциплиной, но и для формирования навыков самостоятельной работы вообще, в учебной, научной, профессиональной деятельности, способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решить проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т. д.

Самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы. Никакие знания, не подкрепленные самостоятельной деятельностью, не могут стать подлинным достоянием человека. Кроме того, самостоятельная работа имеет воспитательное значение: она формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации.

Для повышения эффективности самостоятельной работы студентов используется:

- организация индивидуальных планов обучения с привлечением студентов к научно-исследовательской работе и по возможности к реальному проектированию по заказам предприятий;
- включение самостоятельной работы студентов в учебный план и расписание занятий с организацией индивидуальных консультаций на кафедрах;
- создание комплекса учебных и учебно-методических пособий для выполнения самостоятельной работы студентов;
- разработка системы интегрированных межкафедральных заданий;
- ориентация лекционных курсов на самостоятельную работу;
- рейтинговый метод контроля самостоятельной работы студентов;
- коллегиальные отношения преподавателей и студентов;
- разработка заданий, предполагающих нестандартные решения;
- индивидуальные консультации преподавателя и перерасчет его учебной нагрузки с учетом самостоятельной работы студентов;
- проведение форм лекционных занятий типа лекции-беседы, лекции-дискуссии, где докладчиками и содокладчиками выступают сами студенты, а преподаватель выполняет роль ведущего. Такие занятия предполагают предварительную самостоятельную проработку каждой конкретной темы выступающими студентами по учебным пособиям, консультации с преподавателем и использование дополнительной литературы.

Тема 1. Materials technology. Describing and categorizing materials. Specifying and describing properties. Discussing quality issue. Выполнение лексико-грамматических упражнений, чтение текста и соответствующие предтекстовые и послетекстовые задания. Выполнение письменного задания, монологическое и диалогические высказывания по пройденным темам. повторение и систематизация ранее пройденного грамматического материала - Present Simple, Present Continuous. Nouns and Pronouns. Numerals.

Тема 2. Component shapes and features. Manufacturing techniques. Jointing and fixing techniques. Positions of assembled components. Выполнение лексико-грамматических упражнений, чтение текста и соответствующие предтекстовые и послетекстовые задания. Выполнение письменного задания, монологическое и диалогические высказывания по пройденным темам. повторение и систематизация ранее пройденного грамматического материала - irregular verbs; Past Simple vs. Present Perfect; articles.

Тема 3. Engineering design. Technical drawing (CAD, CAM). Design phases and procedures. Выполнение лексико-грамматических упражнений, чтение текста и соответствующие предтекстовые и послетекстовые задания. Выполнение

письменного задания, монологическое и диалогические высказывания по пройденным темам. повторение и систематизация ранее пройденного грамматического материала - Speaking about future, adjectives degrees of comparisons.

Тема 4. Electrical circuit concept. Electrical generation and transmission. Electrical loads. Semiconductor devices. Выполнение лексико-грамматических упражнений, чтение текста и соответствующие предтекстовые и послетекстовые задания. Выполнение письменного задания, монологическое и диалогические высказывания по пройденным темам. повторение и систематизация ранее пройденного грамматического материала - other perfect tenses, passive and active voice.

Тема 5. Signal processing. Power electronics. Electromagnetisms. Electricla effect and devices. Sensors and actuators. Выполнение лексико-грамматических упражнений, чтение текста и соответствующие предтекстовые и послетекстовые задания. Выполнение письменного задания, монологическое и диалогические высказывания по пройденным темам. повторение и систематизация ранее пройденного грамматического материала - Modals.

Тема 6. Digital logic. Control systems - models, operation principles. Software engineering. Describing automated systems. Robotics. Выполнение лексико-грамматических упражнений, чтение текста и соответствующие предтекстовые и послетекстовые задания. Выполнение письменного задания, монологическое и диалогические высказывания по пройденным темам. повторение и систематизация ранее пройденного грамматического материала - conditionals; Gerund and Infinitive.

Тема 7. International patenting practice. Norms and regulations in this sphere. Structural, stylistics and lingustic specificity of documentation used in the international patenting practice. Patent search and analysis. Writing a patent. General grammar rules revision and practice.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Практические занятия на уроках дисциплины «Международный инжиниринг» направлены на закрепление теоретических знаний и формирование профессиональных практических умений. Проведение практических занятий позволяет заинтересовать обучающихся в изучении предмета, способствует активному усвоению знаний и умений сбора, обработки и анализа информации, характеризующей различные ситуации. Практические занятия развивают такие профессионально значимые качества, как самостоятельность, ответственность, точность, творческую инициативу, исследовательские умения (наблюдать,

сравнивать, анализировать, устанавливать зависимость, делать выводы и обобщения). Содержание разработанных практических занятий направлено на реализацию Государственных требований и требований работодателя.

Выполнению практических заданий предшествует проверка знаний обучающихся – их теоретической готовности к выполнению данных заданий. К каждому практическому занятию разработана инструкция для обучающихся, в которой указан порядок необходимых действий, а также контрольные вопросы. Основная позиция обучаемого в учебном процессе – активно- деятельностная, субъектная – включает в себя самостоятельный поиск, принятие решений, оценочную деятельность. Основная позиция преподавателя – руководитель и партнер по выполнению практических заданий.

С целью контроля и подготовки студентов к изучению новой темы вначале каждого практического занятия преподавателем проводится индивидуальный или фронтальный устный опрос по выполненным заданиям предыдущей темы. Критерии оценки: – правильность ответа по содержанию задания (учитывается количество и характер ошибок при ответе);

– полнота и глубина ответа (учитывается количество усвоенных фактов, понятий и т.п.);

владение словарем по тематике задания (количество освоенных новых слов);

– сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала);

– логика изложения материала (учитывается умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться специальной терминологией);

– рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели);

– своевременность и эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный опыт при устном ответе);

– использование дополнительного материала (обязательное условие);

– рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени, с учетом индивидуальных особенностей студентов).

Критерии оценки устных ответов студентов

Оценочные средства текущего контроля успеваемости: тест, опрос.

Система оценивания по оценочным средствам текущего контроля

Оценочное средство	Балловая стоимость
Тест	0-50 баллов (10 заданий)
Опрос	0-10 баллов
Итого	60 баллов

Баллы за тестирование проставляются за правильные ответы на вопросы.

В зависимости от типа вопроса ответ считается правильным, если:

- в тестовом задании закрытой формы с выбором ответа выбран правильный ответ;
- в тестовом задании открытой формы дан правильный ответ;
- в тестовом задании на установление правильной последовательности установлена правильная последовательность;
- в тестовом задании на установление соответствия, если сопоставление произведено верно для всех пар.

Оценка за опрос определяется простым суммированием баллов:

Критерии оценки ответа на вопрос	Количество баллов
правильность ответа	4
всесторонность и глубина ответа (полнота)	3
наличие выводов	1
соблюдение норм литературной речи	1
владение профессиональной лексикой	1
Итого	10

Результаты текущего контроля фиксируются преподавателем.

Типовые контрольные задания и материалы

Тест:

1. К какому виду услуг относится оценка стоимости проекта?

А) Инжиниринговые услуги;
Б) Финансовые услуги;
В) Консультативные услуги;
Г) Правильного ответа нет.

2. Как называется оказание услуг производственного, коммерческого, инженерно-проектного и научно-технического характера в международном масштабе?

А) Межнациональные договора;
Б) Международный рейтинг;
В) Международный инжиниринг;
Г) Нет нужного ответа.

3. Кем может быть оказан международный инжиниринг?

А) Поставщиком технологии;
Б) Генеральным подрядчиком;
В) Производителем;
Г) Правильного ответа нет.

4. Что представляют собой инжиниринговые услуги?

А) Услуги, связанные с подготовкой и налаживанием производственного процесса;
Б) Услуги, связанные с оказанием консультационных услуг;
В) Услуги, связанные с осуществлением предпринимательской деятельности;
Г) Правильного варианта нет.

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (опыта деятельности), характеризующие формирование компетенций

1. Ознакомление обучающихся с процедурой и алгоритмом оценивания (в начале изучения дисциплины).

2. Проверка ответов на задания, выполненных работ.

3. Сообщение результатов оценивания обучающимся, обсуждение результатов.
4. Оформление необходимой документации.

Перечень вопросов для устного опроса

Materials technology. Describing and categorizing materials.
Specifying and describing properties of materials.
Component shapes and features.
Manufacturing techniques.
Jointing and fixing techniques.
Positions of assembled components.
Engineering design.
Technical drawing (CAD, CAM). Design phases and procedures.
Manufacturing techniques.
Jointing and fixing techniques.
Electrical circuit concept.
Electrical generation and transmission.
Electrical loads.
Semiconductor devices.
Signal processing.
Power electronics.
Electromagnetisms.
Electrical effect and devices.
Sensors and actuators.
Digital logic.

Практические занятия

1. Materials technology. Describing and categorizing materials. Specifying and describing properties. Discussing quality issue. Выполнение лексико-грамматических упражнений, чтение текста и соответствующие предтекстовые и послетекстовые задания. Выполнение письменного задания, монологическое и диалогические высказывания по пройденным темам. повторение и систематизация ранее пройденного грамматического материала - Present Simple, Present Continuous. Nouns and Pronouns. Numerals.
2. Engineering design. Technical drawing (CAD, CAM). Design phases and procedures. Выполнение лексико-грамматических упражнений, чтение текста и соответствующие предтекстовые и послетекстовые задания. Выполнение письменного задания, монологическое и диалогические высказывания по пройденным темам. повторение и систематизация ранее пройденного грамматического материала - Speaking about future, adjectives degrees of comparisons.
3. Component shapes and features. Manufacturing techniques. Jointing and fixing techniques. Positions of assembled components. Выполнение лексико-грамматических упражнений, чтение текста и соответствующие предтекстовые и послетекстовые задания. Выполнение письменного задания, монологическое и диалогические высказывания по пройденным темам. повторение и систематизация ранее пройденного грамматического материала - irregular verbs; Past Simple vs. Present Perfect; articles.
4. Electrical circuit concept. Electrical generation and transmission. Electrical loads. Semiconductor devices. Выполнение лексико-грамматических упражнений, чтение текста и соответствующие предтекстовые и послетекстовые задания. Выполнение письменного задания, монологическое и диалогические высказывания по пройденным темам. повторение и систематизация ранее пройденного грамматического материала - other perfect tenses, passive and active voice.
5. Signal processing. POwer electronics. Electromagnetisms. Electricla effect and devices. Sensors and actuators. Выполнение лексико-грамматических упражнений, чтение текста и соответствующие предтекстовые и послетекстовые задания. Выполнение письменного задания, монологическое и диалогические высказывания по пройденным темам. повторение и систематизация ранее пройденного грамматического материала - Modals.
6. Digital logic. Control systems - models, operation principles. Software engineering. Describing automated systems. Robotics. Выполнение лексико-грамматических упражнений, чтение текста и соответствующие предтекстовые и послетекстовые задания. Выполнение письменного задания, монологическое и диалогические высказывания по пройден-

ным темам. повторение и систематизация ранее пройденного грамматического материала - conditionals; Gerund and Infinitive.

7. International patenting practice. Norms and regulations in this sphere. Structural, stylistics and lingustic specificity of documentation used in the international patenting practice. Patent search and analysis. Writing a patent. General grammar rules revision and practice.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа – это одна из форм устной итоговой аттестации, это самостоятельная исследовательская работа, в которой автор раскрывает суть исследуемой проблемы; приводит различные точки зрения, а также собственные взгляды не нее. Содержание работы должно быть логичным; изложение материала носит проблемно-тематический характер.

Контрольная работа, как форма текущей аттестации, стимулирует раскрытие исследовательского потенциала студента, способность к творческому поиску, сотрудничеству, самораскрытию и проявлению возможностей.

Автор работы должен продемонстрировать достижение им уровня формируемых компетенций, продемонстрировать знание предмета, умение проявлять оценочные знания, изучать теоретические работы, использовать различные методы исследования, применять различные приемы творческой деятельности. Для этого необходимо правильно сформулировать тему, отобрать по ней необходимый материал; использовать только тот материал, который отражает сущность темы. Изложение должно быть последовательным. Недопустимы нечеткие формулировки, речевые и орфографические ошибки. В подготовке работы необходимо использовать материалы современных изданий. Оформление реферата должно быть грамотным и соответствовать ГОСТ 2.105–95, ГОСТ 9327-60. Библиографический список оформляется в соответствие с ГОСТ 7.1-2003.

Изложение текста и оформление выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ. Страницы текстовой части и включенные в нее иллюстрации и таблицы должны соответствовать формату А4 по ГОСТ 9327-60. Работа должна быть выполнена печатным способом на одной стороне бумаги формата А4 через полтора интервала. Цвет шрифта должен быть черным, высота букв, цифр и других знаков не менее 1.8 (шрифт Times New Roman, 14 пт.). Текст следует печатать, соблюдая следующие размеры полей: верхнее и нижнее — 20 мм, левое — 30 мм, правое — 10 мм. Абзацный отступ должен быть одинаковым по всему тексту и составлять 1,25 см. Выравнивание текста по ширине. Разрешается использовать компьютерные возможности акцентирования внимания на определенных терминах, формулах, применяя выделение жирным шрифтом, курсив, подчеркивание. Точку в конце заголовка не ставят. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Название каждой главы и параграфа в тексте работы можно писать более крупным шрифтом, жирным шрифтом,

чем весь остальной текст. Каждая глава начинается с новой страницы, параграфы (подразделы) располагаются друг за другом.

Все страницы обязательно должны быть пронумерованы. Нумерация листов должна быть сквозной. Номер листа проставляется арабскими цифрами. Нумерация листов начинается с третьего листа (после содержания) и заканчивается последним. Номер страницы на титульном листе не проставляется. Список использованной литературы и приложения включаются в общую нумерацию листов. Рисунки и таблицы, расположенные на отдельных листах, включают в общую нумерацию листов и помещают по возможности следом за листами, на которых приведены ссылки на эти таблицы или иллюстрации. Таблицы и иллюстрации нумеруются последовательно арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать рисунки и таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы (рисунка) состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой. В конце работы размещаются приложения. В тексте на все приложения должны быть даны ссылки. Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху посередине страницы слова «Приложение» и его номера. Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Контрольная работа оценивается по следующим критериям: актуальность темы; соответствие содержания теме; глубина проработки материала; правильность и полнота использования источников; соответствие оформления стандартом.

На «отлично»: присутствие всех вышеперечисленных требований; знание студентом изложенного материала, умение грамотно и аргументировано изложить суть проблемы; присутствие личной заинтересованности в раскрываемой теме, собственную точку зрения, аргументы и комментарии, выводы; умение свободно беседовать по любому пункту плана, отвечать на вопросы, поставленные по темеработы; умение анализировать фактический материал и статистические данные, использованные при написании работы; наличие качественно выполненного презентационного материала или (и) раздаточного, не дублирующего основной текст защитного слова, а являющегося его иллюстративным фоном.

На «хорошо»: мелкие замечания по оформлению реферата; незначительные трудности по одному из перечисленных выше требований.

На «удовлетворительно»: тема контрольной работы раскрыта недостаточно полно; неполный список литературы и источников; затруднения в изложении, аргументировании.

Контрольная работа должна содержать: титульный лист, с обязательным указанием наименования учреждения, в котором выполнялся реферат, Ф.И.О. автора, Ф.И.О. руководителя, год написания; введение; основную часть; заключительные выводы; список литературы; при необходимости приложения.

Задание для контрольной работы

1. Write a simple explanation of the existence and behavior of holes in semiconductors.

2. Briefly describe the process by which purified silicon wafers are produced for electronics use from common sand.

3. Draw a sketch similar to Figure 6.3 for p-type Si with boron doping.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Cambridge English for Engineering / Ibbotson M., Day J. – Cambridge: Cambridge university press, 2012
2. Oxford English for Electrical and Mechanical Engineering / Answer Book with teaching notes / Glendinning E. H., Glendinning N. – Oxford : University Press, 2006
3. Technology-1: students book: oxford English for careers / Glendinning E. H., Pohl Alison. – New York: Oxford University Press, 2007

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу _____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Б1.О.01 ФИЛОСОФИЯ

Направление
15.03.06 Мехатроника и робототехника

Профиль

Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Философии и культурологии	Горно-механического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Беляев В. П.	Осипов П. А.
(Фамилия И.О.)	*(Фамилия И.О.)*
Протокол № 1 от 18.09.2023	Протокол № 2 от 20.09.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1	Методические рекомендации по работе с текстом лекций	5
2	Методические рекомендации по подготовке к опросу	8
3	Методические рекомендации по подготовке доклада (презентации)	9
4	Методические рекомендации по написанию эссе	11
5	Методические рекомендации по подготовке к семинарским занятиям	14
6	Методические рекомендации по подготовке к дискуссии	15
7	Методические рекомендации по написанию реферата	17
8	Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов	19
	Заключение	21
	Список использованных источников	22

Автор: Гладкова И. В., доцент, канд. филос. Н

ВВЕДЕНИЕ

Инициативная самостоятельная работа студента есть неотъемлемая составная часть учебы в вузе. В современном формате высшего образования значительно возрастает роль самостоятельной работы студента. Правильно спланированная и организованная самостоятельная работа обеспечивает достижение высоких результатов в учебе.

Самостоятельная работа студента (СРС) - это планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия, при сохранении ведущей роли студентов.

Целью СРС является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками по профилю будущей специальности, опытом творческой, исследовательской деятельности, развитие самостоятельности. Ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровней. Самостоятельная работа студента – важнейшая составная часть учебного процесса, обязательная для каждого студента, объем которой определяется учебным планом. Методологическую основу СРС составляет деятельностный подход, при котором цели обучения ориентированы на формирование умений решать типовые и нетиповые задачи, т. е. на реальные ситуации, в которых студентам надо проявить знание конкретной дисциплины. Предметно и содержательно СРС определяется государственным образовательным стандартом, действующими учебными планами и образовательными программами различных форм обучения, рабочими программами учебных дисциплин, средствами обеспечения СРС: учебниками, учебными пособиями и методическими руководствами, учебно-программными комплексами и т.д.

Самостоятельная работа студентов может рассматриваться как организационная форма обучения - система педагогических условий, обеспечивающих управление учебной деятельностью студентов по освоению знаний и умений в области учебной и научной деятельности без посторонней помощи.

Самостоятельная работа студентов проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирования практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развития исследовательских умений;
- получения навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

Самостоятельная работа студента - это особым образом организованная деятельность, включающая в свою структуру такие компоненты, как:

- уяснение цели и поставленной учебной задачи;
- четкое и системное планирование самостоятельной работы;
- поиск необходимой учебной и научной информации;

- освоение информации и ее логическая переработка;
- использование методов исследовательской, научно-исследовательской работы для решения поставленных задач;
- выработка собственной позиции по поводу полученной задачи;
- представление, обоснование и защита полученного решения;
- проведение самоанализа и самоконтроля.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы: аудиторная и внеаудиторная.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию: текущие консультации, коллоквиум, прием и разбор домашних заданий и другие.

Внеаудиторная самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия: подготовка презентаций, составление глоссария, подготовка к практическим занятиям, подготовка рецензий, аннотаций на статью, подготовка к дискуссиям, круглым столам.

СРС может включать следующие формы работ:

- изучение лекционного материала;
- работа с источниками литературы: поиск, подбор и обзор литературы и электронных источников информации по заданной проблеме курса;
- выполнение домашних заданий, выдаваемых на практических занятиях: тестов, докладов, контрольных работ и других форм текущего контроля;
- изучение материала, вынесенного на самостоятельное изучение; подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к контрольной работе или коллоквиуму;
- подготовка к зачету, экзамену, другим аттестациям;
- написание реферата, эссе по заданной проблем;
- выполнение расчетно-графической работы;
- выполнение выполнение курсовой работы или проекта;
- анализ научной публикации по определенной преподавателем теме, ее реферирование;
- исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах.

Особенностью организации самостоятельной работы студентов является необходимость не только подготовиться к сдаче зачета /экзамена, но и собрать, обобщить, систематизировать, проанализировать информацию по темам дисциплины.

Технология организации самостоятельной работы студентов включает использование информационных и материально-технических ресурсов образовательного учреждения. Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует студентам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов online и на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений студентов.

Подготовка к самостоятельная работа, не предусмотренная образовательной программой, учебным планом и учебно-методическими материалами, раскрывающими и конкретизирующими их содержание, осуществляется студентами инициативно, с целью реализации собственных учебных и научных интересов.

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы студентов могут быть использованы обмен информационными файлами, семинарские занятия, тестирование, опрос, доклад, реферат, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и электронных презентаций и др.

1. Методические рекомендации по работе с текстом лекций

На лекционных занятиях необходимо конспектировать учебный материал. Обращать внимание на формулировки, определения, раскрывающие содержание тех или иных понятий, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском мастерстве. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность студента, и помогает усвоить учебный материал.

Желательно оставлять в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений, фиксировать вопросы, вызывающие личный интерес, варианты ответов на них, сомнения, проблемы, спорные положения. Рекомендуется вести записи на одной стороне листа, оставляя вторую сторону для размышлений, разборов, вопросов, ответов на них, для фиксирования деталей темы или связанных с ней фактов, которые припоминаются самим студентом в ходе слушания.

Слушание лекций - сложный вид интеллектуальной деятельности, успех которой обусловлен *умением слушать*, и стремлением воспринимать материал, нужное записывая в тетрадь. Запись лекции помогает сосредоточить внимание на главном, в ходе самой лекции продумать и осмыслить услышанное, осознать план и логику изложения материала преподавателем.

Такая работа нередко вызывает трудности у студентов: некоторые стремятся записывать все дословно, другие пишут отрывочно, хаотично. Чтобы избежать этих ошибок, целесообразно придерживаться ряда правил.

1. После записи ориентирующих и направляющих внимание данных (тема, цель, план лекции, рекомендованная литература) важно попытаться проследить, как они раскрываются в содержании, подкрепляются формулировками, доказательствами, а затем и выводами.

2. Записывать следует основные положения и доказывающие их аргументы, наиболее яркие примеры и факты, поставленные преподавателем вопросы для самостоятельной проработки.

3. Стремиться к четкости записи, ее последовательности, выделяя темы, подтемы, вопросы и подвопросы, используя цифровую и буквенную нумерацию (римские и арабские цифры, большие и малые буквы), красные строки, выделение абзацев, подчеркивание главного и т.д.

Форма записи материала может быть различной - в зависимости от специфики изучаемого предмета. Это может быть стиль учебной программы (назывные предложения), уместны и свои краткие пояснения к записям.

Студентам не следует подробно записывать на лекции «все подряд», но обязательно фиксировать то, что преподаватели диктуют – это базовый конспект, содержащий основные положения лекции: определения, выводы, параметры, критерии, аксиомы, постулаты, парадигмы, концепции, ситуации, а также мысли-маяки (ими часто являются афоризмы, цитаты, остроумные изречения). Запись лекции лучше вести в сжатой форме, короткими и четкими фразами. Каждому студенту полезно выработать свою систему сокращений, в которой он мог бы разобраться легко и безошибочно.

Даже отлично записанная лекция предполагает дальнейшую самостоятельную работу над ней (осмысление ее содержания, логической структуры, выводов). С целью доработки конспекта лекции необходимо в первую очередь прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить описки, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл. Далее прочитать материал по рекомендуемой литературе, разрешая в ходе чтения возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополняя и исправляя свои записи. В ходе доработки конспекта углубляются, расширяются и закрепляются знания, а также дополняется, исправляется и совершенствуется конспект. Доработанный конспект и

рекомендуемая литература используется при подготовке к практическому занятию. Знание лекционного материала при подготовке к практическому занятию обязательно.

Особенно важно в процессе самостоятельной работы над лекцией выделить новый понятийный аппарат, уяснить суть новых понятий, при необходимости обратиться к словарям и другим источникам, заодно устранив неточности в записях. Главное - вести конспект аккуратно и регулярно, только в этом случае он сможет стать подспорьем в изучении дисциплины.

Работа над лекцией стимулирует самостоятельный поиск ответов на самые различные вопросы: над какими понятиями следует поработать, какие обобщения сделать, какой дополнительный материал привлечь.

Важным средством, направляющим самообразование, является выполнение различных заданий по тексту лекции, например, составление ее развернутого плана или тезисов; ответы на вопросы проблемного характера, (скажем, об основных тенденциях развития той или иной проблемы); составление проверочных тесты по проблеме, написание по ней реферата, составление графических схем.

По своим задачам лекции могут быть разных жанров: *установочная лекция* вводит в изучение курса, предмета, проблем (что и как изучать), а *обобщающая лекция* позволяет подвести итог (зачем изучать), выделить главное, усвоить законы развития знания, преемственности, новаторства, чтобы применить обобщенный позитивный опыт к решению современных практических задач. Обобщающая лекция ориентирует в истории и современном состоянии научной проблемы.

В процессе освоения материалов обобщающих лекций студенты могут выполнять задания разного уровня. Например: задания *репродуктивного* уровня (составить развернутый план обобщающей лекции, составить тезисы по материалам лекции); задания *продуктивного* уровня (ответить на вопросы проблемного характера, составить опорный конспект по схеме, выявить основные тенденции развития проблемы); задания *творческого* уровня (составить проверочные тесты по теме, защитить реферат и графические темы по данной проблеме). Обращение к ранее изученному материалу не только помогает восстановить в памяти известные положения, выводы, но и приводит разрозненные знания в систему, углубляет и расширяет их. Каждый возврат к старому материалу позволяет найти в нем что-то новое, переосмыслить его с иных позиций, определить для него наиболее подходящее место в уже имеющейся системе знаний.

2. Методические указания по подготовке к опросу

Самостоятельная работа обучающихся включает подготовку к устному или письменному опросу на семинарских занятиях. Для этого обучающийся изучает лекции, основную и дополнительную литературу, публикации, информацию из Интернет-ресурсов. Темы и вопросы к семинарским занятиям, вопросы для самоконтроля приведены в методических указаниях по разделам и доводятся до обучающихся заранее.

Письменный опрос

Письменный опрос является одной из форм текущего контроля успеваемости студента. При изучении материала студент должен убедиться, что хорошо понимает основную терминологию темы, умеет ее использовать в нужном контексте. Желательно составить краткий конспект ответа на предполагаемые вопросы письменной работы, чтобы убедиться в том, что студент владеет материалом и может аргументировано, логично и грамотно письменно изложить ответ на вопрос. Следует обратить особое внимание на написание профессиональных терминов, чтобы избегать грамматических ошибок в работе. При изучении новой для студента терминологии рекомендуется изготовить карточки, которые содержат новый термин и его расшифровку, что значительно облегчит работу над материалом.

Устный опрос

Целью устного собеседования являются обобщение и закрепление изученного курса. Студентам предлагаются для освещения сквозные концептуальные проблемы. При подготовке следует использовать лекционный материал и учебную литературу. Для более глубокого постижения курса и более основательной подготовки рекомендуется познакомиться с указанной дополнительной литературой. Готовясь к семинару, студент должен, прежде всего, ознакомиться с общим планом семинарского занятия. Следует внимательно прочесть свой конспект лекции по изучаемой теме и рекомендуемую к теме семинара литературу. С незнакомыми терминами и понятиями следует ознакомиться в предлагаемом глоссарии, словаре или энциклопедии [1].

Критерии качества устного ответа.

1. Правильность ответа по содержанию.
2. Полнота и глубина ответа.
3. Сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала).
4. Логика изложения материала (учитывается умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться профессиональной терминологией).
5. Рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели).
6. Своевременность и эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный опыт при устном ответе).
7. Использование дополнительного материала (приветствуется, но не обязательно для всех студентов).
8. Рациональность использования времени, отведенного на задание (не одобряется затянутость выполнения задания, устного ответа во времени, с учетом индивидуальных особенностей студентов)[2].

Ответ на каждый вопрос из плана семинарского занятия должен быть содержательным и аргументированным. Для этого следует использовать монографическую, учебную и справочную литературу.

Для успешной подготовки к устному опросу, студент должен законспектировать рекомендуемую литературу, внимательно осмыслить лекционный материал и сделать выводы.

3.Методические рекомендации по подготовке доклада (презентации)

Доклад – публичное сообщение по заданной теме, представляющее собой развернутое изложение на определенную тему, вид самостоятельной работы, который используется в учебных и внеаудиторных занятиях и способствует формированию навыков исследовательской работы, освоению методов научного познания, приобретению навыков публичного выступления, расширяет познавательные интересы, приучает критически мыслить.

При подготовке доклада используется дополнительная литература, систематизируется материал. Работа над докладом не только позволяет учащемуся приобрести новые знания, но и способствует формированию важных научно-

[1] Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://lesgaft.spb.ru/sites/default/files/u57/metod.rekomendacii_dlya_studentov_21.pdf

[2]Методические рекомендации для студентов [Электронный ресурс]: http://priab.ru/images/metod_agro/Metod_Inostran_yazyk_35.03.04_Agro_15.01.2016.pdf

исследовательских навыков самостоятельной работы с научной литературой, что повышает познавательный интерес к научному познанию.

Приветствуется использование мультимедийных технологий, подготовка докладов-презентаций.

Доклад должен соответствовать следующим требованиям:

- тема доклада должна быть согласованна с преподавателем и соответствовать теме занятия;

- иллюстрации (слайды в презентации) должны быть достаточными, но не чрезмерными;

- материалы, которыми пользуется студент при подготовке доклада-презентации, должны соответствовать научно-методическим требованиям ВУЗа и быть указаны в докладе;

- необходимо соблюдать регламент: 7-10 минут выступления.

Преподаватель может дать тему сразу нескольким студентам одной группы, по принципу: докладчик и оппонент. Студенты могут подготовить два выступления с противоположными точками зрения и устроить дискуссию по проблемной теме. Докладчики и содокладчики во многом определяют содержание, стиль, активность данного занятия, для этого необходимо:

- использовать технические средства;
- знать и хорошо ориентироваться в теме всей презентации (семинара);
- уметь дискутировать и быстро отвечать на вопросы;
- четко выполнять установленный регламент: докладчик - 7-10 мин.; содокладчик - 5 мин.; дискуссия - 10 мин;
- иметь представление о композиционной структуре доклада.

После выступления докладчик и содокладчик, должны ответить на вопросы слушателей.

В подготовке доклада выделяют следующие этапы:

1. Определение цели доклада: информировать, объяснить, обсудить что-то (проблему, решение, ситуацию и т. п.)

2. Подбор литературы, иллюстративных примеров.

3. Составление плана доклада, систематизация материала, композиционное оформление доклада в виде печатного /рукописного текста и электронной презентации.

Общая структура доклада

Построение доклада включает три части: вступление, основную часть и заключение.

Вступление.

Вступление должно содержать:

- название презентации (доклада);
- сообщение основной идеи;
- обоснование актуальности обсуждаемого вопроса;
- современную оценку предмета изложения;
- краткое перечисление рассматриваемых вопросов;
- живую интересную форму изложения;
- акцентирование оригинальности подхода.

Основная часть.

Основная часть состоит из нескольких разделов, постепенно раскрывающих тему. Возможно использование иллюстрации (графики, диаграммы, фотографии, карты, рисунки) Если необходимо, для обоснования темы используется ссылка на источники с доказательствами, взятыми из литературы (цитирование авторов, указание цифр, фактов, определений). Изложение материала должно быть связным, последовательным, доказательным.

Задача основной части - представить достаточно данных для того, чтобы слушатели и заинтересовались темой и захотели ознакомиться с материалами. При этом логическая структура теоретического блока не должны даваться без наглядных пособий, аудио-визуальных и визуальных материалов.

Заключение.

Заключение - это ясное четкое обобщение, в котором подводятся итоги, формулируются главные выводы, подчеркивается значение рассмотренной проблемы, предлагаются самые важные практические рекомендации. Требования к оформлению доклада. Объем машинописного текста доклада должен быть рассчитан на произнесение доклада в течение 7 -10 минут (3-5 машинописных листа текста с докладом).

Доклад оценивается по следующим критериям:

Критерии оценки доклада, сообщения	*Количество баллов*
Содержательность, информационная насыщенность доклада	1
Наличие аргументов	1
Наличие выводов	1
Наличие презентации доклада	1
Владение профессиональной лексикой	1
Итого:	5

Электронные презентации выполняются в программе MS PowerPoint в виде слайдов в следующем порядке: • титульный лист с заголовком темы и автором исполнения презентации; • план презентации (5-6 пунктов - это максимум); • основная часть (не более 10 слайдов); • заключение (вывод). Общие требования к стилевому оформлению презентации: • дизайн должен быть простым и лаконичным; • основная цель - читаемость, а не субъективная красота; цветовая гамма должна состоять не более чем из двух-трех цветов; • всегда должно быть два типа слайдов: для титульных и для основного текста; • размер шрифта должен быть: 24–54 пункта (заголовок), 18–36 пунктов (обычный текст); • текст должен быть свернут до ключевых слов и фраз. Полные развернутые предложения на слайдах таких презентаций используются только при цитировании; каждый слайд должен иметь заголовок; • все слайды должны быть выдержаны в одном стиле; • на каждом слайде должно быть не более трех иллюстраций; • слайды должны быть пронумерованы с указанием общего количества слайдов

4. Методические рекомендации по написанию эссе

Эссе - это самостоятельная письменная работа на тему, предложенную преподавателем. Цель эссе состоит в развитии навыков самостоятельного творческого мышления и письменного изложения собственных мыслей. Писать эссе чрезвычайно полезно, поскольку это позволяет автору научиться четко и грамотно формулировать мысли, структурировать информацию, использовать основные категории анализа, выделять причинно-следственные связи, иллюстрировать понятия соответствующими примерами, аргументировать свои выводы; овладеть научным стилем речи.

Эссе должно содержать: четкое изложение сути поставленной проблемы, включать самостоятельно проведенный анализ этой проблемы с использованием концепций и аналитического инструментария, рассматриваемого в рамках дисциплины, выводы, обобщающие авторскую позицию по поставленной проблеме. В зависимости от специфики дисциплины формы эссе могут значительно дифференцироваться. В некоторых случаях это может быть анализ имеющихся статистических данных по изучаемой проблеме, анализ материалов из средств массовой информации и использованием изучаемых моделей, подробный разбор предложенной задачи с развернутыми мнениями, подбор и детальный анализ примеров, иллюстрирующих проблему и т.д.

Построение эссе - это ответ на вопрос или раскрытие темы, которое основано на классической системе доказательств.

Структура эссе

1. *Титульный лист* (заполняется по единой форме);

2. *Введение* - суть и обоснование выбора данной темы, состоит из ряда компонентов, связанных логически и стилистически.

На этом этапе очень важно правильно *сформулировать вопрос, на который вы собираетесь найти ответ в ходе своего исследования.*

3. *Основная часть* - теоретические основы выбранной проблемы и изложение основного вопроса.

Данная часть предполагает развитие аргументации и анализа, а также обоснование их, исходя из имеющихся данных, других аргументов и позиций по этому вопросу. В этом заключается основное содержание эссе и это представляет собой главную трудность. Поэтому важное значение имеют подзаголовки, на основе которых осуществляется структурирование аргументации; именно здесь необходимо обосновать (логически, используя данные или строгие рассуждения) предлагаемую аргументацию/анализ. Там, где это необходимо, в качестве аналитического инструмента можно использовать графики, диаграммы и таблицы.

В зависимости от поставленного вопроса анализ проводится на основе следующих категорий:

Причина - следствие, общее - особенное, форма - содержание, часть - целое, постоянство - изменчивость.

В процессе построения эссе необходимо помнить, что один параграф должен содержать только одно утверждение и соответствующее доказательство, подкрепленное графическим и иллюстративным материалом. Следовательно, наполняя содержанием разделы аргументацией (соответствующей подзаголовкам), необходимо в пределах параграфа ограничить себя рассмотрением одной главной мысли.

Хорошо проверенный (и для большинства — совершено необходимый) способ построения любого эссе - использование подзаголовков для обозначения ключевых моментов аргументированного изложения: это помогает посмотреть на то, что предполагается сделать (и ответить на вопрос, хорош ли замысел). Такой подход поможет следовать точно определенной цели в данном исследовании. Эффективное использование подзаголовков - не только обозначение основных пунктов, которые необходимо осветить. Их последовательность может также свидетельствовать о наличии или отсутствии логичности в освещении темы.

4. *Заключение* - обобщения и аргументированные выводы по теме с указанием области ее применения и т.д. Подытоживает эссе или еще раз вносит пояснения, подкрепляет смысл и значение изложенного в основной части. Методы, рекомендуемые для составления заключения: повторение, иллюстрация, цитата, впечатляющее утверждение. Заключение может содержать такой очень важный, дополняющий эссе элемент, как указание на применение (импликацию) исследования, не исключая взаимосвязи с другими проблемами.

Структура аппарата доказательств, необходимых для написания эссе

Доказательство - это совокупность логических приемов обоснования истинности какого-либо суждения с помощью других истинных и связанных с ним суждений. Оно связано с убеждением, но не тождественно ему: аргументация или доказательство должны основываться на данных науки и общественно-исторической практики, убеждения же могут быть основаны на предрассудках, неосведомленности людей в вопросах экономики и политики, видимости доказательности. Другими словами, доказательство или аргументация - это рассуждение, использующее факты, истинные суждения, научные данные и убеждающее нас в истинности того, о чем идет речь.

Структура любого доказательства включает в себя три составляющие: тезис, аргументы и выводы или оценочные суждения.

Тезис - это положение (суждение), которое требуется доказать. *Аргументы* - это категории, которыми пользуются при доказательстве истинности тезиса. *Вывод* - это мнение, основанное на анализе фактов. *Оценочные суждения* - это мнения, основанные на наших убеждениях, верованиях или взглядах. *Аргументы* обычно делятся на следующие группы:

1. *Удостоверенные факты* — фактический материал (или статистические данные).
2. *Определения* в процессе аргументации используются как описание понятий, связанных с тезисом.
3. *Законы* науки и ранее доказанные теоремы тоже могут использоваться как аргументы доказательства.

Требования к фактическим данным и другим источникам

При написании эссе чрезвычайно важно то, как используются эмпирические данные и другие источники (особенно качество чтения). Все (фактические) данные соотносятся с конкретным временем и местом, поэтому прежде, чем их использовать, необходимо убедится в том, что они соответствуют необходимому для исследований времени и месту. Соответствующая спецификация данных по времени и месту — один из способов, который может предотвратить чрезмерное обобщение, результатом которого может, например, стать предположение о том, что все страны по некоторым важным аспектам одинаковы (если вы так полагаете, тогда это должно быть доказано, а не быть голословным утверждением).

Всегда можно избежать чрезмерного обобщения, если помнить, что в рамках эссе используемые данные являются иллюстративным материалом, а не заключительным актом, т.е. они подтверждают аргументы и рассуждения и свидетельствуют о том, что автор умеет использовать данные должным образом. Нельзя забывать также, что данные, касающиеся спорных вопросов, всегда подвергаются сомнению. От автора не ждут определенного или окончательного ответа. Необходимо понять сущность фактического материала, связанного с этим вопросом (соответствующие индикаторы? насколько надежны данные для построения таких индикаторов? к какому заключению можно прийти на основании имеющихся данных и индикаторов относительно причин и следствий? и т.д.), и продемонстрировать это в эссе. Нельзя ссылаться на работы, которые автор эссе не читал сам.

Как подготовить и написать эссе?

Качество любого эссе зависит от трех взаимосвязанных составляющих, таких как:

1. Исходный материал, который будет использован (конспекты прочитанной литературы, лекций, записи результатов дискуссий, собственные соображения и накопленный опыт по данной проблеме).
2. Качество обработки имеющегося исходного материала (его организация, аргументация и доводы).
3. Аргументация (насколько точно она соотносится с поднятыми в эссе проблемами).

Процесс написания эссе можно разбить на несколько стадий: обдумывание - планирование - написание - проверка - правка.

Планирование - определение цели, основных идей, источников информации, сроков окончания и представления работы.

Цель должна определять действия.

Идеи, как и цели, могут быть конкретными и общими, более абстрактными. Мысли, чувства, взгляды и представления могут быть выражены в форме аналогий, ассоциации, предположений, рассуждений, суждений, аргументов, доводов и т.д.

Аналогии - выявление идеи и создание представлений, связь элементов значений.

Ассоциации - отражение взаимосвязей предметов и явлений действительности в форме закономерной связи между нервно - психическими явлениями (в ответ на тот или иной словесный стимул выдать «первую пришедшую в голову» реакцию).

Предположения - утверждение, не подтвержденное никакими доказательствами.

Рассуждения - формулировка и доказательство мнений.

Аргументация - ряд связанных между собой суждений, которые высказываются для того, чтобы убедить читателя (слушателя) в верности (истинности) тезиса, точки зрения, позиции.

Суждение - фраза или предложение, для которого имеет смысл вопрос: истинно или ложно?

Доводы - обоснование того, что заключение верно абсолютно или с какой-либо долей вероятности. В качестве доводов используются факты, ссылки на авторитеты, заведомо истинные суждения (законы, аксиомы и т.п.), доказательства (прямые, косвенные, «от противного», «методом исключения») и т.д.

Перечень, который получится в результате перечисления идей, поможет определить, какие из них нуждаются в особенной аргументации.

*Источники***.** Тема эссе подскажет, где искать нужный материал. Обычно пользуются библиотекой, Интернет-ресурсами, словарями, справочниками. Пересмотр означает редактирование текста с ориентацией на качество и эффективность.

Качество текста складывается из четырех основных компонентов: ясности мысли, внятности, грамотности и корректности.

Мысль - это содержание написанного. Необходимо четко и ясно формулировать идеи, которые хотите выразить, в противном случае вам не удастся донести эти идеи и сведения до окружающих.

Внятность - это доступность текста для понимания. Легче всего ее можно достичь, пользуясь логично и последовательно тщательно выбранными словами, фразами и взаимосвязанными абзацами, раскрывающими тему.

Грамотность отражает соблюдение норм грамматики и правописания. Если в чем-то сомневаетесь, загляните в учебник, справьтесь в словаре или руководстве по стилистике или дайте прочитать написанное человеку, чья манера писать вам нравится.

Корректность — это стиль написанного. Стиль определятся жанром, структурой работы, целями, которые ставит перед собой пишущий, читателями, к которым он обращается.

5. Методические рекомендации по подготовке семинарским занятиям

Семинар представляет собой комплексную форму и завершающее звено в изучении определенных тем, предусмотренных программой учебной дисциплины. Комплексность данной формы занятий определяется тем, что в ходе её проведения сочетаются выступления обучающихся и преподавателя: рассмотрение обсуждаемой проблемы и анализ различных, часто дискуссионных позиций; обсуждение мнений обучающихся и разъяснение (консультация) преподавателя; углубленное изучение теории и приобретение навыков умения ее использовать в практической работе.

По своему назначению семинар, в процессе которого обсуждается та или иная научная проблема, способствует:

- углубленному изучению определенного раздела учебной дисциплины, закреплению знаний;
- отработке методологии и методических приемов познания;
- выработке аналитических способностей, умения обобщения и формулирования выводов;
- приобретению навыков использования научных знаний в практической деятельности;
- выработке умения кратко, аргументированно и ясно излагать обсуждаемые вопросы;
- осуществлению контроля преподавателя за ходом обучения.

Семинары представляет собой *дискуссию* в пределах обсуждаемой темы (проблемы). Дискуссия помогает участникам семинара приобрести более совершенные знания, проникнуть в суть изучаемых проблем. Выработать методологию, овладеть методами анализа социально-экономических процессов. Обсуждение должно носить творческий характер с четкой и убедительной аргументацией.

По своей структуре семинар начинается со вступительного слова преподавателя, в котором кратко излагаются место и значение обсуждаемой темы (проблемы) в данной дисциплине, напоминаются порядок и направления ее обсуждения. Конкретизируется ранее известный обучающимся план проведения занятия. После этого начинается процесс обсуждения вопросов обучающимися. Завершается занятие подведением итогоа обсуждения, заключительным словом преподавателя.

Проведение семинарских занятий в рамках учебной группы (20 - 25 человек) позволяет обеспечить активное участие в обсуждении проблемы всех присутствующих.

По ходу обсуждения темы помните, что изучение теории должно быть связано с определением (выработкой) средств, путей применения теоретических положений в практической деятельности, например, при выполнении функций государственного служащего. В то же время важно не свести обсуждение научной проблемы только к пересказу случаев из практики работы, к критике имеющих место недостатков. Дискуссии имеют важное значение: учат дисциплине ума, умению выступать по существу, мыслить логически, выделяя главное, критически оценивать выступления участников семинара.

В процессе проведения семинара обучающиеся могут использовать разнообразные по своей форме и характеру пособия, демонстрируя фактический, в том числе статистический материал, убедительно подтверждающий теоретические выводы и положения. В завершение обсудите результаты работы семинара и сделайте выводы, что хорошо усвоено, а над чем следует дополнительно поработать.

В целях эффективности семинарских занятий необходима обстоятельная подготовка к их проведению. В начале семестра (учебного года) возьмите в библиотеке необходимые методические материалы для своевременной подготовки к семинарам. Готовясь к конкретной теме занятия следует ознакомиться с новыми официальными документами, статьями в периодических журналах, вновь вышедшими монографиями.

6. Методические рекомендации по подготовке к дискуссии

Современная практика предлагает широкий круг типов семинарских занятий. Среди них особое место занимает *семинар-дискуссия,* где в диалоге хорошо усваивается новая информация, видны убеждения студента, обсуждаются противоречия (явные и скрытые) и недостатки. Для обсуждения берутся конкретные актуальные вопросы, с которыми студенты предварительно ознакомлены. Дискуссия является одной из наиболее эффективных технологий

группового взаимодействия, обладающей особыми возможностями в обучении, развитии и воспитании будущего специалиста.

Дискуссия (от лат. discussio - рассмотрение, исследование) - способ организации совместной деятельности с целью интенсификации процесса принятия решений в группе посредством обсуждения какого-либо вопроса или проблемы.

Дискуссия обеспечивает активное включение студентов в поиск истины; создает условия для открытого выражения ими своих мыслей, позиций, отношений к обсуждаемой теме и обладает особой возможностью воздействия на установки ее участников в процессе группового взаимодействия. Дискуссию можно рассматривать как *метод интерактивного обучения* и как особую технологию, включающую в себя другие методы и приемы обучения: «мозговой штурм», «анализ ситуаций» и т.д.

Обучающий эффект дискуссии определяется предоставляемой участнику возможностью получить разнообразную информацию от собеседников, продемонстрировать и повысить свою компетентность, проверить и уточнить свои представления и взгляды на обсуждаемую проблему, применить имеющиеся знания в процессе совместного решения учебных и профессиональных задач.

Развивающая функция дискуссии связана со стимулированием творчества обучающихся, развитием их способности к анализу информации и аргументированному, логически выстроенному доказательству своих идей и взглядов, с повышением коммуникативной активности студентов, их эмоциональной включенности в учебный процесс.

Влияние дискуссии на личностное становление студента обусловливается ее целостно - ориентирующей направленностью, созданием благоприятных условий для проявления индивидуальности, самоопределения в существующих точках зрения на определенную проблему, выбора своей позиции; для формирования умения взаимодействовать с другими, слушать и слышать окружающих, уважать чужие убеждения, принимать оппонента, находить точки соприкосновения, соотносить и согласовывать свою позицию с позициями других участников обсуждения.

Безусловно, наличие оппонентов, противоположных точек зрения всегда обостряет дискуссию, повышает ее продуктивность, позволяет создавать с их помощью конструктивный конфликт для более эффективного решения обсуждаемых проблем.

Существует несколько видов дискуссий, использование того или иного типа дискуссии зависит от характера обсуждаемой проблемы и целей дискуссии.

Дискуссия- диалог чаще всего применяется для совместного обсуждения учебных и производственных проблем, решение которых может быть достигнуто путем взаимодополнения, группового взаимодействия по принципу «индивидуальных вкладов» или на основе согласования различных точек зрения, достижения консенсуса.

Дискуссия - спор используется для всестороннего рассмотрения сложных проблем, не имеющих однозначного решения даже в науке, социальной, политической жизни, производственной практике и т.д. Она построена на принципе «позиционного противостояния» и ее цель - не столько решить проблему, сколько побудить участников дискуссии задуматься над проблемой, уточнить и определить свою позицию; научить аргументировано отстаивать свою точку зрения и в то же время осознать право других иметь свой взгляд на эту проблему, быть индивидуальностью.

Условия эффективного проведения дискуссии:

- информированность и подготовленность студентов к дискуссии,
- свободное владение материалом, привлечение различных источников для аргументации отстаиваемых положений;
- правильное употребление понятий, используемых в дискуссии, их единообразное понимание;
- корректность поведения, недопустимость высказываний, задевающих личность оппонента; установление регламента выступления участников;
- полная включенность группы в дискуссию, участие каждого студента в ней.

Подготовка студентов к дискуссии: если тема объявлена заранее, то следует ознакомиться с указанной литературой, необходимыми справочными материалами, продумать свою позицию, четко сформулировать аргументацию, выписать цитаты, мнения специалистов.

В проведении дискуссии выделяется несколько этапов.

Этап 1-й, введение в дискуссию: формулирование проблемы и целей дискуссии;

определение значимости проблемы, совместная выработка правил дискуссии; выяснение однозначности понимания темы дискуссии, используемых в ней терминов, понятий.

Этап 2-й, обсуждение проблемы: обмен участниками мнениями по каждому вопросу. Цель этапа - собрать максимум мнений, идей, предложений, соотнося их друг с другом.

Этап 3-й, подведение итогов обсуждения: выработка студентами согласованного мнения и принятие группового решения.

Далее подводятся итоги дискуссии, заслушиваются и защищаются проектные задания. После этого проводится "мозговой штурм" по нерешенным проблемам дискуссии, а также выявляются прикладные аспекты, которые можно рекомендовать для включения в курсовые и дипломные работы или в апробацию на практике.

Семинары-дискуссии проводятся с целью выявления мнения студентов по актуальным и проблемным вопросам.

7. Методические рекомендации по написанию реферата

Слово "реферат" (от латинского – referre – докладывать, сообщать) означает сжатое изложение в устной или письменной форме содержания какого–либо вопроса или темы на основе критического обзора информации.

Написание реферата - вид самостоятельной работы студента, содержащий информацию, дополняющую и развивающую основную тему, изучаемую на аудиторных занятиях. Реферат может включать обзор нескольких источников и служить основой для доклада на семинарах, конференциях.

При подготовке реферата необходимо соблюдать следующие правила.

Ясно и четко сформулировать цель и задачи реферата, отражающие тему или решение проблемы.

Найти литературу по выбранной теме; составить перечень источников, обязательных к прочтению.

Только после предварительной подготовки следует приступать к написанию реферата. Прежде всего, составить план, выделить в нем части.

Введение. В этом разделе раскрывается цель и задачи работы; здесь необходимо сформулировать проблему, которая будет проанализирована в реферате, изложить своё отношение к ней, то есть мотивацию выбора; определить особенность постановки данной проблемы авторами изученной литературы; объяснить актуальность и социальную значимость выбранной темы.

Основная часть. Разделы, главы, параграфы основной части должны быть направлены на рассмотрение узловых моментов в теме реферата. Изложение содержания изученной литературы предполагает его критическое осмысление, глубокий логический анализ.

Каждый раздел основной части реферата предполагает детальное изучение отдельного вопроса темы и последовательное изложение структуры текстового материала с обязательными ссылками на первоисточник. В целом, содержание основной части должно отражать позиции отдельных авторов, сравнительную характеристику этих позиций, выделение узловых вопросов дискурса по выбранной для исследования теме.

Заключение. В заключении автор реферата должен сформулировать личную позицию в отношении изученной проблемы и предложить, может быть, свои способы её решения. Целесообразно сделать общие выводы по теме реферата и ещё раз отметить её актуальность и социальную значимость.

Список использованных источников и литературы.

Написание рефератов является одной из форм обучения студентов, направленной на организацию и повышение уровня самостоятельной работы, а также на усиление контроля за этой работой.

В отличие от теоретических семинаров, при проведении которых приобретаются, в частности, навыки высказывания своих суждений и изложения мнений других авторов в устной форме, написание рефератов формирует навыки изложения своих мыслей в письменной форме грамотным языком, хорошим стилем.

В зависимости от содержания и назначения в учебном процессе рефераты можно подразделить на два основных типа: научно-проблемные и обзорно-информационные.

Научно-проблемный реферат. При написании такого реферата следует изучить и кратко изложить имеющиеся в литературе суждения по определенному, спорному в теории, вопросу (проблеме) по данной теме, высказать по этому вопросу (проблеме) собственную точку зрения с соответствующим ее обоснованием.

Обзорно-информационный реферат. Разновидностями такого реферата могут быть следующие:

1) краткое изложение основных положений той или иной книги, монографии, содержащих материалы, относящиеся к изучаемой теме по курсу дисциплины;

2) подбор и краткое изложение содержания статей по определенной проблеме (теме, вопросу), опубликованных в различных журналах за определенный период, либо в сборниках («научных трудах», «ученых записках» и т.д.).

Темы рефератов определяются преподавателем. Литература либо рекомендуется преподавателем, либо подбирается аспирантами самостоятельно, что является одним из элементов самостоятельной работы.

Объем реферата должен быть в пределах 15 страниц машинописного текста через 1,5 интервала. При оформлении реферата необходимо ориентироваться на правила и установленные стандарты для учебных и научных работ.

Реферат сдается в указанные преподавателем сроки.

Критерии оценивания:

- достижение поставленной цели и задач исследования (новизна и актуальность поставленных в реферате проблем, правильность формулирования цели, определения задач исследования, правильность выбора методов решения задач и реализации цели; соответствие выводов решаемым задачам, поставленной цели, убедительность выводов);
- уровень эрудированности автора по изученной теме (знание автором состояния изучаемой проблематики, цитирование источников, степень использования в работе результатов исследований);
- личные заслуги автора реферата (новые знания, которые получены помимо основной образовательной программы, новизна материала и рассмотренной проблемы, научное значение исследуемого вопроса);
- культура письменного изложения материала (логичность подачи материала, грамотность автора);
- культура оформления материалов работы (соответствие реферата всем стандартным требованиям);
- знания и умения на уровне требований стандарта данной дисциплины: знание фактического материала, усвоение общих понятий и идей;
- степень обоснованности аргументов и обобщений (полнота, глубина, всестороннее раскрытие темы, корректность аргументации и системы доказательств, характер и достоверность примеров, иллюстративного материала, наличие знаний интегрированного характера, способность к обобщению);
- качество и ценность полученных результатов (степень завершенности реферативного исследования, спорность или однозначность выводов);
- корректное использование литературных источников, грамотное оформление ссылок.

8. Методические рекомендации по подготовке к сдаче экзаменов и зачетов

Экзамен - одна из важнейших частей учебного процесса, имеющая огромное значение.

Во-первых, готовясь к экзамену, студент приводит в систему знания, полученные на лекциях, семинарах, практических и лабораторных занятиях, разбирается в том, что осталось непонятным, и тогда изучаемая им дисциплина может быть воспринята в полном объеме с присущей ей строгостью и логичностью, ее практической направленностью. А это чрезвычайно важно для будущего специалиста.

Во-вторых, каждый хочет быть волевым и сообразительным., выдержанным и целеустремленным, иметь хорошую память, научиться быстро находить наиболее рациональное решение в трудных ситуациях. Очевидно, что все эти качества не только

украшают человека, но и делают его наиболее действенным членом коллектива. Подготовка и сдача экзамена помогают студенту глубже усвоить изучаемые дисциплины, приобрести навыки и качества, необходимые хорошему специалисту.

Конечно, успех на экзамене во многом обусловлен тем, насколько систематически и глубоко работал студент в течение семестра. Совершенно очевидно, что серьезно продумать и усвоить содержание изучаемых дисциплин за несколько дней подготовки к экзамену просто невозможно даже для очень способного студента. И, кроме того, хорошо известно, что быстро выученные на память разделы учебной дисциплины так же быстро забываются после сдачи экзамена.

При подготовке к экзамену студенты не только повторяют и дорабатывают материал дисциплины, которую они изучали в течение семестра, они обобщают полученные знания, осмысливают методологию предмета, его систему, выделяют в нем основное и главное, воспроизводят общую картину с тем, чтобы яснее понять связь между отдельными элементами дисциплины. Вся эта обобщающая работа проходит в условиях напряжения воли и сознания, при значительном отвлечении от повседневной жизни, т. е. в условиях, благоприятствующих пониманию и запоминанию.

Подготовка к экзаменам состоит в приведении в порядок своих знаний. Даже самые способные студенты не в состоянии в короткий период зачетно-экзаменационной сессии усвоить материал целого семестра, если они над ним не работали в свое время. Для тех, кто мало занимался в семестре, экзамены принесут мало пользы: что быстро пройдено, то быстро и забудется. И хотя в некоторых случаях студент может «проскочить» через экзаменационный барьер, в его подготовке останется серьезный пробел, трудно восполняемый впоследствии.

Определив назначение и роль экзаменов в процессе обучения, попытаемся на этой основе пояснить, как лучше готовиться к ним.

Экзаменам, как правило, предшествует защита курсовых работ (проектов) и сдача зачетов. К экзаменам допускаются только студенты, защитившие все курсовые работы проекты) и сдавшие все зачеты. В вузе сдача зачетов организована так, что при систематической работе в течение семестра, своевременной и успешной сдаче всех текущих работ, предусмотренных графиком учебного процесса, большая часть зачетов не вызывает повышенной трудности у студента. Студенты, работавшие в семестре по плану, подходят к экзаменационной сессии без напряжения, без излишней затраты сил в последнюю, «зачетную» неделю.

Подготовку к экзамену следует начинать с первого дня изучения дисциплины. Как правило, на лекциях подчеркиваются наиболее важные и трудные вопросы или разделы дисциплины, требующие внимательного изучения и обдумывания. Нужно эти вопросы выделить и обязательно постараться разобраться в них, не дожидаясь экзамена, проработать их, готовясь к семинарам, практическим или лабораторным занятиям, попробовать самостоятельно решить несколько типовых задач. И если, несмотря на это, часть материала осталась неусвоенной, ни в коем случае нельзя успокаиваться, надеясь на то, что это не попадется на экзамене. Факты говорят об обратном; если те или другие вопросы учебной дисциплины не вошли в экзаменационный билет, преподаватель может их задать (и часто задает) в виде дополнительных вопросов.

Точно такое же отношение должно быть выработано к вопросам и задачам, перечисленным в программе учебной дисциплины, выдаваемой студентам в начале семестра. Обычно эти же вопросы и аналогичные задачи содержатся в экзаменационных билетах. Не следует оставлять без внимания ни одного раздела дисциплины: если не удалось в чем-то разобраться самому, нужно обратиться к товарищам; если и это не помогло выяснить какой-либо вопрос до конца, нужно обязательно задать этот вопрос преподавателю на предэкзаменационной консультации. Чрезвычайно важно приучить себя к умению самостоятельно мыслить, учиться думать, понимать суть дела. Очень полезно после проработки каждого раздела восстановить в памяти содержание изученного материала. кратко записав это на листе бумаги. создать карту памяти (умственную карту), изобразить необходимые схемы и чертежи (логико-графические схемы), например, отобразить последовательность вывода теоремы или формулы. Если этого не сделать, то большая часть материала останется не понятой, а лишь формально заученной, и при первом же вопросе экзаменатора студент убедится в том, насколько поверхностно он усвоил материал.

В период экзаменационной сессии происходит резкое изменение режима работы, отсутствует посещение занятий по расписанию. При всяком изменении режима работы очень важно скорее приспособиться к новым условиям. Поэтому нужно сразу выбрать такой режим работы, который сохранился бы в течение всей сессии, т. е. почти на месяц. Необходимо составить для себя новый распорядок дня, чередуя занятия с отдыхом. Для того чтобы сократить потерю времени на включение в работу, рабочие периоды целесообразно делать длительными, разделив день примерно на три части: с утра до обеда, с обеда до ужина и от ужина до сна.

Каждый рабочий период дня надо заканчивать отдыхом. Наилучший отдых в период экзаменационной сессии - прогулка, кратковременная пробежка или какой-либо неутомительный физический труд.

При подготовке к экзаменам основное направление дают программа учебной дисциплины и студенческий конспект, которые указывают, что наиболее важно знать и уметь делать. Основной материал должен прорабатываться по учебнику (если такой имеется) и учебным пособиям, так как конспекта далеко недостаточно для изучения дисциплины. Учебник должен быть изучен в течение семестра, а перед экзаменом сосредоточьте внимание на основных, наиболее сложных разделах. Подготовку по каждому разделу следует заканчивать восстановлением по памяти его краткого содержания в логической последовательности.

За один - два дня до экзамена назначается консультация. Если ее правильно использовать, она принесет большую пользу. Во время консультации студент имеет полную возможность получить ответ на нее ни ясные ему вопросы. А для этого он должен проработать до консультации все темы дисциплины. Кроме того, преподаватель будет отвечать на вопросы других студентов, что будет для вас повторением и закреплением знаний. И еще очень важное обстоятельство: преподаватель на консультации, как правило, обращает внимание на те вопросы, по которым на предыдущих экзаменах ответы были неудовлетворительными, а также фиксирует внимание на наиболее трудных темах дисциплины. Некоторые студенты не приходят на консультации либо потому, что считают, что у них нет вопросов к преподавателю, либо полагают, что у них и так мало времени и лучше самому прочитать материал в конспекте или и учебнике. Это глубокое заблуждение. Никакая другая работа не сможет принести столь значительного эффекта накануне экзамена, как консультация преподавателя.

Но консультация не может возместить отсутствия длительной работы в течение семестра и помочь за несколько часов освоить материал, требующийся к экзамену. На консультации студент получает ответы на трудные или оставшиеся неясными вопросы и, следовательно, дорабатывается материал. Консультации рекомендуется посещать, подготовив к ним все вопросы, вызывающие сомнения. Если студент придет на консультацию, не проработав всего материала, польза от такой консультации будет невелика.

Итак, *основные советы* для подготовки к сдаче зачетов и экзаменов состоят в следующем:

- лучшая подготовка к зачетам и экзаменам - равномерная работа в течение всего семестра;
- используйте программы учебных дисциплин - это организует вашу подготовку к зачетам и экзаменам;
- учитывайте, что для полноценного изучения учебной дисциплины необходимо время;
- составляйте планы работы во времени;
- работайте равномерно и ритмично;
- курсовые работы (проекты) желательно защищать за одну - две недели до начала зачетно-экзаменационной сессии;
- все зачеты необходимо сдавать до начала экзаменационной сессии;
- помните, что конспект не заменяет учебник и учебные пособия, а помогает выбрать из него основные вопросы и ответы;
- при подготовке наибольшее внимание и время уделяйте трудным и непонятным вопросам учебной дисциплины;
- грамотно используйте консультации;
- соблюдайте правильный режим труда и отдыха во время сессии, это сохранит работоспособность и даст хорошие результаты;
- учитесь владеть собой на зачете и экзамене;
- учитесь точно и кратко передавать свои мысли, поясняя их, если нужно, логико-графическими схемами.

Очень важным условием для правильного режима работы в период экзаменационной сессии является нормальный сон, иначе в день экзамена не будет чувства бодрости и уверенности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания по выполнению самостоятельной работы обучающихся являются неотъемлемой частью процесса обучения в вузе. Правильная организация самостоятельной работы позволяет обучающимся развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, способствует формированию навыков совершенствования профессионального мастерства.

Также внеаудиторное время включает в себя подготовку к аудиторным занятиям и изучение отдельных тем, расширяющих и углубляющих представления обучающихся по разделам изучаемой дисциплины.

Таким образом, обучающийся используя методические указания может в достаточном объеме усвоить и успешно реализовать конкретные знания, умения, навыки и получить опыт при выполнении следующих условий:

1) систематическая самостоятельная работа по закреплению полученных знаний и навыков;

2) добросовестное выполнение заданий;

3) выяснение и уточнение отдельных предпосылок, умозаключений и выводов, содержащихся в учебном курсе;

4) сопоставление точек зрения различных авторов по затрагиваемым в учебном курсе проблемам; выявление неточностей и некорректного изложения материала в периодической и специальной литературе;

5) периодическое ознакомление с последними теоретическими и практическими достижениями в области управления персоналом;

6) проведение собственных научных и практических исследований по одной или нескольким актуальным проблемам для *HR*;

7) подготовка научных статей для опубликования в периодической печати, выступление на научно-практических конференциях, участие в работе студенческих научных обществ, круглых столах и диспутах по проблемам управления персоналом.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Долгоруков А. Метод case-study как современная технология профессионально - ориентированного обучения [Электронный ресурс]. Режим доступа: //http://evolkov.net/case/case.study.html/

2. Методические рекомендации по написанию реферата. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.hse.spb.ru/edu/recommendations/method-referat-2005.phtml

3. Фролова Н. А. Реферирование и аннотирование текстов по специальности (на материале немецкого языка): Учеб. пособие / ВолгГТУ, Волгоград, 2006. - С.5.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу _____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

ИСТОРИЯ РОССИИ

Направление
15.03.06 Мехатроника и робототехника

Профиль
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Управление персоналом	Горно-механического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Абрамов С.М.	Осипов П.А.
(Фамилия И. О.)	*(Фамилия И. О.)*
Протокол № 1 от 10.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

Автор: Железникова А.В.

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические рекомендации необходимы для студентов бакалавриата по направлению 15.03.06 Мехатроника и робототехника при организации самостоятельной работы по дисциплине «История России» в рамках подготовки и защиты контрольной работы.

В методических рекомендациях содержатся особенности организации подготовки контрольной работы, требования к ее оформлению, а также порядок защиты и критерии оценки.

Контрольная работа является одной из форм текущего контроля знаний студентов. Контрольная работа – это индивидуальная деятельность обучающегося по концентрированному выражению накопленного знания. Контрольная работа представляет собой самостоятельный труд студента, который способствует углубленному изучению материала**.** Целью выполнения контрольной работы является:

- формирование специальных знаний по выбранной теме;
- углубленное изучение освоенного материала по дисциплине.

Основные задачи контрольной работы:

1) закрепление полученных ранее теоретических знаний;
2) выработка навыков самостоятельной работы;
3) выяснение подготовленности студента к будущей практической работе;
4) приобретение, систематизация и расширение знаний;
5) формирование умений и навыков работы с монографической и другой научной литературой, а также нормативными документами;
6) развитие умения правильно формулировать и раскрывать теоретические положения, аргументировать самостоятельные выводы и предложения на основе сопоставления различных мнений и взглядов;
7) овладение терминологией.

В методических рекомендациях содержатся особенности организации подготовки контрольной работы, требования к ее оформлению, а также порядок защиты и критерии оценки.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Выполнение контрольной работы по дисциплине «История России» призвано стимулировать самостоятельную работу студентов; оно направлено на формирование знаний основных категорий, развитие навыков логического мышления.

Контрольная работа должна быть оформлена следующим образом. На титульном листе необходимо указать название университета (ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»), название кафедры (кафедра Управление персоналом), название дисциплины («История России»), по которой выполняется работа, фамилию и инициалы имени и отчества студента, фамилию и инициалы преподавателя. Титульный лист работы оформляется студентом по образцу, данному в приложении.

Положительная оценка по контрольной работе ставится в случае, если задание по работе выполнено в полном объеме, правильно. При этом, обучающийся показал отличные владения навыками применения полученных знаний и умений в рамках усвоенного учебного материала, ответил на все дополнительные вопросы на защите.

Студент, не получивший оценку по контрольной работе, не может быть допущен к зачету по дисциплине «История России».

Работа должна включать титульный лист, оглавление, введение, основную часть, состоящую из нескольких разделов или параграфов, заключение, список источников и литературы.

Во **«введении»** необходимо кратко раскрыть значение и актуальность изучаемого вопроса (темы), назвать основные задачи работы, ее хронологические рамки, обосновать структуру, дать краткий обзор источников и литературы по теме.

Обзор источников и литературы не должен сводиться к перечислению использованного автором нормативного материала и опубликованных статей. В нем следует дать анализ источников и литературы.

Основная часть контрольной работы должна быть изложена в соответствии с планом, освещать состояние и содержать анализ рассматриваемых вопросов с учетом современного уровня развития теоретических знаний и опыта практической работы организаций.

При раскрытии той или иной темы студент должен стремиться подробно и глубоко изложить круг вопросов, входящих в нее. По мере рассмотрения материала отдельные положения контрольной работы следует иллюстрировать примерами из литературы и, по возможности, из практики работы конкретных архивов с обязательными ссылками на литературу и источники.

В **заключении** контрольной работы необходимо подвести итоги теоретической и практической разработки вопросов.

Список источников и литературы представляет собой перечень использованных работ по теме, в котором указываются фамилии и инициалы автора (авторов), название работы, место, время ее опубликования и страницы.

1. Оформление контрольной работы

Перед тем, как рассмотреть оформление заголовков, отметим, что работа обычно печатается 14-м размером шрифта Times New Roman (это не регламентируется ГОСТом, однако используется в большинстве отечественных высших учебных заведений). Общепринятый междустрочный интервал – 1,5. На каждой странице должны присутствовать стандартные поля (сверху и снизу – по 2 см, слева – 3 см, справа – 1 см). Объем контрольной работы-15-20 страниц машинописного текста.

Работа нумеруется с помощью арабских цифр, начиная со страницы введения. Она в общей структуре следует под номером «3».

Основные правила оформления такие:

1. заголовки выравниваются по центру или по правому краю (этот момент выясняют у научного руководителя или в методичке);
2. названия структурных элементов (ОГЛАВЛЕНИЕ, ЗАДАНИЕ 1, ЗАДАНИЕ 2, ЗАКЛЮЧЕНИЕ) прописываются заглавными буквами;
3. используется тот же размер шрифта, что и для основного текста (по умолчанию – 14);
4. заголовки выделяют полужирным начертанием;
5. между заголовком и текстом оставляют две пустые строчки;
6. переносы, авторские сокращения, точки в конце заголовков не используются;
7. новые разделы и подразделы начинаются с чистого листа.

Каждый новый раздел основной части начинается с новой страницы. Это же правило относится и к другим структурным частям работы: введению, заключению, списку источников и литературы, приложениям.

Расстояние между заголовком и последующим текстом, а также расстояние между заголовком главы и параграфа должно быть равно одному межстрочному интервалу. Расстояние между последней строкой предыдущего параграфа и названием следующего параграфа – два межстрочных интервала. Точку в конце заголовка, расположенного в середине строки, не ставят. Подчеркивать заголовки и переносить слова в заголовке нельзя.

Нумерация страниц проставляется арабскими цифрами, в центре нижней части листа без точки, начиная с третьей страницы. На титульном листе и содержании номера страниц не ставятся. Необходимо соблюдать сквозную нумерацию во всей работе. Иллюстрации и таблицы, расположенные на отдельных листах, включаются в общую нумерацию.

Иллюстрации. Часть информации, содержащейся в курсовой работе, оформляется в виде иллюстраций (чертежи, схемы, графики, таблицы, фотоматериалы). Они могут располагаться в тексте или помещаться в приложении. Но в любом случае на каждую иллюстрацию в тексте должны быть ссылки. Иллюстрации, расположенные в тексте, имеют сквозную нумерацию арабскими цифрами. Причем, отдельно нумеруются рисунки, отдельно таблицы. Иллюстрации, расположенные в приложениях, располагаются под номерами приложений. Ссылки на них в тексте предполагают обращение к соответствующим приложениям

ОРГАНИЗАЦИЯ ЗАЩИТЫ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Порядок защиты контрольной работы.

1.Краткое сообщение, характеризующее цель и задачи работы, ее актуальность, полученные результаты, вывод и предложения.

2.Ответы студента на вопросы преподавателя.

Советы обучающемуся:

- Вступление должно быть кратким – 1-2 фразы (если вы хотите подчеркнуть при этом важность и сложность данного вопроса, то не говорите, что он сложен и важен, а покажите его сложность и важность).
- Целесообразнее вначале показать свою схему раскрытия вопроса, а уж потом ее детализировать.
- Рассказывать будет легче, если вы представите себе, что объясняете материал очень способному и хорошо подготовленному человеку, который не знает именно этого раздела, и что при этом вам обязательно нужно доказать важность данного раздела и заинтересовать в его освоении.
- Строго следите за точностью своих выражений и правильностью употребления терминов.
- Не пытайтесь рассказать побольше за счет ускорения темпа, но и не мямлите.
- Не демонстрируйте излишнего волнения и не напрашивайтесь на сочувствие.
- Будьте особенно внимательны ко всем вопросам преподавателя, к малейшим его замечаниям. И уж ни в коем случае его не перебивайте!
- Не бойтесь дополнительных вопросов – чаще всего преподаватель использует их как один из способов помочь вам или сэкономить время.
- Прежде чем отвечать на дополнительный вопрос, необходимо сначала правильно его понять. Для этого нужно хотя бы немного подумать, иногда переспросить, уточнить: правильно ли вы поняли поставленный вопрос. И при ответе следует соблюдать тот же принцип экономности мышления, а не высказывать без разбора все, что вы можете сказать.
- Будьте доброжелательны и тактичны, даже если к ответу вы не готовы (это вина не преподавателя, а ваша).

ЗАДАНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Вариант 1. Тема: Древняя Русь

План

1. Проблема этногенеза восточных славян.
2. Восточные славяне в древности: общинные традиции и порядки.

3. Языческая культура древних славян.

Вариант 2. Тема: Киевская Русь

План

1.Политическое устройство Киевской Руси.

2. Первые русские князья.

2.Социально-экономическое развитие.

3.Культура Древнерусского государства.

Вариант 3. Тема: Крещение Руси

План

1.Языческая реформа князя Владимира.

2.Принятие православного христианства.

3.Развитие культуры и искусства под влиянием новой религии.

4.Роль церкви в общественной и государственной жизни страны.

Вариант 4. Тема: Объединение русских земель и образование Московского государства (XIV–XV вв.)

План

1.Предпосылки и начало объединения русских земель вокруг Москвы.

2.Борьба Великого московского князя с удельными князьями.

3.Образование российского централизованного государства. Иван III. Василий III.

Вариант 5. Тема: Иван Грозный. Попытки централизации государства

План

1.Реформы 1549–1560 гг.: причины, содержание, результаты.

2.Опричнина: истоки, содержание, последствия.

3.Место Ивана Грозного в российской истории.

Вариант 6. Тема: Смутное время в России

План

1. Смутное время, его причины, сущность и проявления.

2. Проблемы исторического выбора в период Смуты, возможные альтернативы развития.

3. Национально-патриотический подъем в начале XVII века. Земское ополчение.

4. Возникновение новой династии: исторический выбор.

Вариант 7. Тема: Церковная реформа середины XVII в.

План

1. Церковная реформа патриарха Никона.

2. Раскол и возникновение старообрядчества.

3. Последствия церковной реформы для духовной жизни и культурного развития страны.

Вариант 8. Тема: Реформы Петра I

1. Предпосылки преобразований Петра I.

2. Петровские реформы: содержание и характеристика.

3. Методы проведения реформ, их результаты и цена

Вариант 9. Тема: Внешняя политика российской империи во второй половине XVIII в.

План

1. Русско-турецкие войны.

2. Разделы Польши.
3. Значение присоединения новых территорий.
4. Выдающиеся полководцы XVIII века.

Вариант 10. Тема: Проблема эволюции и революции в истории России
План
1. Реформы и реформаторы в России.
2. Попытки либеральных реформ при Александре I.
3. Декабристы.
4. Буржуазно-демократические реформы Александра II и их последствия.
5. Общественная мысль и движение народников.

Вариант 11. Тема: Великие реформы Александра II
План
1.Предпосылки и подготовка реформ.
2.Содержание реформ 60-70-х гг.:
а) манифест и "Положения 19 февраля" 1861 г.;
б) земская и городская реформа;
в) судебная реформа;
г) военная реформа;
д) реформа в области просвещения.

Вариант 12. Тема: Общественно-политические движения XIX века в России
План
1. Общественное движение начала XIX века. Декабристы.
2. Общественное движение середины XIX века. Славянофилы. Западники. Либеральное направление.
3. Развитие общественно-политических сил в середине XIX в. народничество.
3. Проникновение марксизма в Россию.

Вариант 13. Тема: Россия в условиях первой мировой войны и общенационального кризиса
План:
1. Начало, причины, характер и масштабы первой мировой войны.
2. Цели вступления России в мировую войну. Отношение к войне классов и партий России.
3. Последствия войны для России.

Вариант 14. Тема: От реформ к революциям
План
1. Российские реформы в контексте общемирового развития.
2. Революция 1905-1907 гг. и ее итоги.
3. Социальная трансформация общества.
4. Реформы П.А. Столыпина
5. Россия в условиях первой мировой войны и общенационального кризиса.
6. Революция 1917 года: от февраля к октябрю: результаты и последствия

Вариант 15. Тема: Гражданская война в России
План
1.Причины и начало гражданской войны.
2.Характеристика основных противоборствующих сил:
а) «демократическая контрреволюция»;

б) антисоветские силы;
в) стратегия и тактика большевиков.
3. Завершение гражданской войны, ее итоги и уроки.

Вариант 16. Тема: Образование СССР

План:

1. Образование самостоятельных Советских республик и отношения между ними (1918-1922 гг.).

2.Причины, предпосылки и процесс образования СССР. Дискуссия по вопросу о форме союзного государства.

3. I Всесоюзный съезд Советов.

4. Конституции СССР.

Вариант 17. Тема: Поиски моделей советского общества

План

1. «Военный коммунизм» как модель советского общества.
2. Новая экономическая политика.
3. Формирование однопартийной системы.
4. Курс на строительство коммунизма в одной стране.
5. Формирование культа личности Сталина.

Вариант 18. Тема: Политическая система советского общества

План

1.Формирование политической системы СССР в 20-30-е гг. Становление режима личной власти Сталина.

2.Политика репрессий. Политические процессы 30-х гг.

3.Попытки сопротивления сталинскому режиму и их последствия.

Вариант 19. Тема: СССР в годы Второй мировой и Великой Отечественной войны. 1939–1945 гг.

План

1. Причины и основные этапы второй мировой и Великой Отечественной войны.
2. Антигитлеровская коалиция: взаимодействие и противоречия.
3. Итоги и уроки мировой войн

Вариант 20. Тема: Советское общество: либеральные реформы и консервативные тенденции. 1953–1985 гг.

План

1. Смерть Сталина и борьба за власть. Начало десталинизации общества.
2. Реформы Н. С. Хрущева: планы, противоречия, итоги.
3. Политическое, социально-экономическое и духовно-нравственное развитие страны: конец 60-х-начало 80-х гг.

Вариант 21. Тема: Основные тенденции государственно-политического и общественного развития СССР в 1985–1993 гг.

План

1. Попытки совершенствования социализма. Перестройка: расчеты и просчеты.
2. Кризис власти. Августовские события 1991 г. и конец перестройки.
3. Формирование государственно-политической системы Российской Федерации. Становление гражданского общества.

Вариант 22. Тема: Русская культура (X-XIII вв., XVIII в., «Золотого века», «Серебряного века», советского периода (на выбор)

План

1. Основные направления и жанры.
2. Искусство и литература как отражение жизни общества.
3. Традиции и новаторство в культуре.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Проверяемая компетенция: УК-5

Знать:

- основные категории и понятия, относящиеся к исторической проблематике;
- актуальные события, тенденции, факторы, этапы и закономерности истории России;
- место и роль России в мировой истории в контексте различных направлений современной историографии;
- основные теории и концепции по истории России;
- социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия общества;

Уметь:

- толерантно воспринимать межкультурное разнообразие общества;
- интерпретировать прошлое с позиций настоящего без опоры на оценочные суждения;
- осмысливать общественное развитие в более широких рамках, видеть его более интерактивным и эволюционным в социальном смысле и не загонять его в идеологически детерминированную последовательность событий;
- извлекать из прошлого российской истории практические уроки для применения полученных знаний в профессиональной деятельности;
- анализировать и оценивать исторические события и процессы в их динамике и взаимосвязи.
- демонстрировать уважение к людям и проявлять толерантность к другой культуре, готовность к поддержанию партнерских отношений;

Владеть:

- навыками толерантного восприятия межкультурного разнообразия общества;
- навыками анализа исторических источников и исторической литературы, а также умением ведения дискуссии по проблемам исторического прошлого;
- способностью к социальному взаимодействию на основе принятых моральных и правовых норм, социальных стандартов;
- знанием базовых ценностей мировой культуры, готовностью опираться на них в своем личном и общекультурном развитии;
- способностью самостоятельно осуществлять исследовательскую деятельность использованием современных информационно-коммуникационных технологий.

Критерии оценивания:

- многоаспектность анализа проблемы,
- умение применять теоретические знания к реальной ситуации задания (наличие иллюстративных примеров),
- наличие выводов,
- соответствие требованиям оформления,
- соблюдение норм литературной речи, грамотность, владение профессиональной терминологией

Правила оценивания:

Первый показатель – 3 балла, последний – 1 балл, остальные показатели – по 2 балла.

Критерии оценки:

5-10 баллов (50-100%) – «зачтено»;

0-4 баллов (0-49%) - оценка «не зачтено».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Контрольная работа, как одна из форм, способствующих успешному контролю учебного процесса, **открывает для студента возможность** проявить умение выполнять самостоятельную работу по сбору и анализу материала, научиться делать грамотные выводы, развить умение работать со специальными литературными источниками, научиться критически подходить к их осмыслению и сравнению с уже имеющимися у него знаниями. Также студент, **создавая контрольную работу**, учится грамотно и прилежно оформлять собственный труд. Таким образом, студент, используя методические указания может в достаточном объеме усвоить и успешно реализовать конкретные знания, умения, навыки и получить опыт при выполнении следующих условий:

1) добросовестное выполнение заданий;

2) выяснение и уточнение отдельных предпосылок, умозаключений и выводов, содержащихся в учебном курсе;

3) сопоставление точек зрения различных авторов по затрагиваемым в учебном курсе проблемам; выявление неточностей и некорректного изложения материала в периодической и специальной литературе;

4) периодическое ознакомление с последними теоретическими и практическими достижениями в области управления персоналом;

5) проведение собственных научных и практических исследований по одной или нескольким актуальным проблемам для *специалистов горного дела*.

Приложение

Образец оформления титульного листа контрольной работы (реферата)

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет»

Инженерно-экономический факультет

Кафедра управления персоналом

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине
«История России»

ВАРИАНТ 1

Руководитель:
Железникова А.В.
Студент гр. МИР-24
Ф.И.О.

Екатеринбург – 2024

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу _____С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Б1.О.02 ИСТОРИЯ РОССИИ

Направление
15.03.06 Мехатроника и робототехника

Профиль
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Одобрена на заседании кафедры	Рассмотрена методической комиссией
Управление персоналом	Горно-механического факультета
(название кафедры)	*(название факультета)*
Зав. кафедрой _____	Председатель _____
(подпись)	*(подпись)*
Абрамов С.М.	Осипов П.А.
(Фамилия И. О.)	*(Фамилия И. О.)*
Протокол № 1 от 10.09.2023	Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)	*(Дата)*

Екатеринбург

Автор: Железникова А.В.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……..……..3

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ…….……..…..……..6

ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ……10

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ…….……18

ПОДГОТОВКА К ДОКЛАДУ…….22

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ....27

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ……30

ПОДГОТОВКА ЭССЕ……31

ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ…….....34

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ……36

ВВЕДЕНИЕ

Самостоятельная работа в высшем учебном заведении – это часть учебного процесса, метод обучения, прием учебно-познавательной деятельности, комплексная целевая стандартизованная учебная деятельность с запланированными видом, типом, формами контроля.

Самостоятельная работа представляет собой плановую деятельность обучающихся по поручению и под методическим руководством преподавателя.

Целью самостоятельной работы студентов является закрепление тех знаний, которые они получили на аудиторных занятиях, а также способствование развитию у студентов творческих навыков, инициативы, умению организовать свое время.

Самостоятельная работа реализует следующие задачи:

- предполагает освоение курса дисциплины;
- помогает освоению навыков учебной и научной работы;
- способствует осознанию ответственности процесса познания;
- способствует углублению и пополнению знаний студентов, освоению ими навыков и умений;
- формирует интерес к познавательным действиям, освоению методов и приемов познавательного процесса,
- создает условия для творческой и научной деятельности обучающихся;
- способствует развитию у студентов таких личных качеств, как целеустремленность, заинтересованность, исследование нового.

Самостоятельная работа обучающегося выполняет следующие функции:

- развивающую (повышение культуры умственного труда, приобщение к творческим видам деятельности, обогащение интеллектуальных способностей студентов);
- информационно-обучающую (учебная деятельность студентов на аудиторных занятиях, неподкрепленная самостоятельной работой, становится мало результативной);
- ориентирующую и стимулирующую (процессу обучения придается ускорение и мотивация);
- воспитательную (формируются и развиваются профессиональные качества бакалавра и гражданина);
- исследовательскую (новый уровень профессионально-творческого мышления).

Организация самостоятельной работы студентов должна опираться на определенные требования, а, именно:

- сложность осваиваемых знаний должна соответствовать уровню развития студентов;
- стандартизация заданий в соответствии с логической системой курса дисциплины;

- объем задания должен соответствовать уровню студента;
- задания должны быть адаптированными к уровню студентов.

Содержание самостоятельной работы студентов представляет собой, с одной стороны, совокупность теоретических и практических учебных заданий, которые должен выполнить студент в процессе обучения, объект его деятельности; с другой стороны – это способ деятельности студента по выполнению соответствующего теоретического или практического учебного задания.

Свое внешнее выражение содержание самостоятельной работы студентов находит во всех организационных формах аудиторной и внеаудиторной деятельности, в ходе самостоятельного выполнения различных заданий.

Функциональное предназначение самостоятельной работы студентов в процессе практических занятий по овладению специальными знаниями заключается в самостоятельном прочтении, просмотре, прослушивании, наблюдении, конспектировании, осмыслении, запоминании и воспроизведении определенной информации. Цель и планирование самостоятельной работы студента определяет преподаватель. Вся информация осуществляется на основе ее воспроизведения.

Так как самостоятельная работа тесно связана с учебным процессом, ее необходимо рассматривать в двух аспектах:

1. аудиторная самостоятельная работа – практические занятия;
2. внеаудиторная самостоятельная работа – подготовка к практическим занятиям, подготовка к устному опросу, участию в дискуссиях, решению практико-ориентированных задач и др.

Основные формы организации самостоятельной работы студентов определяются следующими параметрами:

- содержание учебной дисциплины;
- уровень образования и степень подготовленности студентов;
- необходимость упорядочения нагрузки студентов при самостоятельной работе.

Таким образом, самостоятельная работа студентов является важнейшей составной частью процесса обучения.

Методические указания по организации самостоятельной работы и задания для обучающихся по дисциплине «*История России*» обращаю внимание студента на главное, существенное в изучаемой дисциплине, помогают выработать умение анализировать явления и факты, связывать теоретические положения с практикой, а также облегчают подготовку к выполнению *контрольной работы* и к сдаче *зачета*.

Настоящие методические указания позволят студентам самостоятельно овладеть фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю подготовки, опытом творческой и исследовательской деятельности, и направлены на формирование компетенций, предусмотренных учебным планом поданному профилю.

Видами самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «*История России*» являются:

- повторение материала лекций;
- самостоятельное изучение тем курса (в т. ч. рассмотрение основных категорий дисциплины, работа с литературой);
- подготовка к практическим (семинарским) занятиям (в т. ч. подготовка доклада, подготовка к выполнению практико-ориентированного задания);
- подготовка к тестированию;
- подготовка эссе;
- подготовка контрольной работы;
- подготовка к зачету.

В методических указаниях представлены материалы для самостоятельной работы и рекомендации по организации отдельных её видов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Тема 1. Объект, предмет, основные понятия и методы исследования истории

1.История как наука. Сущность, формы, функции исторического знания.

2.Методы и источники изучения истории. Понятие и классификация исторического источника.

3.Концепции исторического процесса.

4.История России - неотъемлемая часть всемирной истории.

5.Историография отечественной истории.

Тема 2. Славянский этногенез. Образование государства у восточных славян

1.Этногенез восточных славян.

2.Славяне: расселение, занятия, общественное устройство, верования.

3.Предпосылки образования государственности у восточных славян

4.Норманнская и антинорманнская теории.

5. Первые князья династии Рюриковичей.

6. Русь и Византия. Первые договоры.

Тема 3. Киевская Русь

1. Социально-экономический и общественно-политический строй Киевской Руси (конец X – первая треть XII вв.).

2.Формирование системы государственного управления. Князья Игорь, Ольга, Святослав.

3. Князь Владимир. Крещение Руси и его значение.

4. Ярослав Мудрый. «Русская правда» - первый свод законов Древнерусского государства. Владимир Мономах.

Тема 4. Русь в эпоху феодальной раздробленности

1.Предпосылки распада Киевской Руси и начала феодальной раздробленности.

2. Политическая раздробленность на Руси

а) Новгородская боярская республика.

б) Владимиро-Суздальская Русь. Юрий Долгорукий, Андрей Боголюбский, Всеволод Большое Гнездо.

в) Галицко-Волынская земля. Ростислав Мстиславич, Даниил Романович.

г) Киевская земля в период феодальной раздробленности.

3. Последствия раздробленности.

4. Завоевательные походы монголов и нашествие Батыя на Русь.

5. Борьба с немецко-шведской агрессией. Деятельность А.Невского

6. Золотоордынское влияние на развитие средневековой Руси: оценки историков.

Тема 5. Складывание Московского государства в XIV - XVI вв. (XIV – начало XVI вв.)

1.Предпосылки и особенности процесса объединения русских земель.

2.Этапы политического объединения, их характеристика и содержание. Иван Калита, Дмитрий Донской.

3.Социально-экономическое развитие и формирование политических основ Российского государства при Иване III и Василии III.

4. Внутренняя и внешняя политика Ивана IV.

5. Культура Руси XIV – начала XVI вв.

Тема 6. Российское государство в XVII в.

1.Смутное время начала XVII в.

2.Развитие Российского государства при первых царях династии Романовых:

а) новые явления в социально-экономической жизни;

б) движение социального протеста;

в) государственно-общественное развитие;

г) реформы патриарха Никона и церковный раскол;

д) внешняя политика России в XVII в., присоединение новых территорий

Тема 7. Россия в XVIII в.

1. Реформы Петра I и начало российской модернизации

2. Внешняя политика Петра I. Рождение Российской империи.

3. «Эпоха дворцовых переворотов» (1725–1762 гг.).

4.Царствование Екатерины II:

а) социально-экономическое развитие России во 2-й половине XVIII в.;

б) «Просвещенный абсолютизм»: содержание, особенности, противоречия.

4.Российское государство в конце XVIII века. Павел I.

5.Внешняя политика России

6.Европеизация и секуляризация русской культуры: результаты и последствия.

Тема 8. Россия в XIX в.

1. Александр I и его преобразования. М.М. Сперанский.

2. Внешняя политика в первой четверти XIX в.

3. Внутренняя и внешняя политика императора Николая I.

4. Александр II. Отмена крепостного права и ее влияние на социально-экономическое развитие страны.

5.Либерально-буржуазные реформы 60–70-х гг. XIX в. и их последствия.

6. «Контрреформы» Александра III: корректировка реформаторского курса.

7.Общественно-политические движения (консервативный, либеральный, революционный лагерь).

8.Внешняя политика России во второй половине XIX в.

9. Культура и общественная жизнь России в XIX в.

Тема 11. Россия в XX в.

1.Проблемы российской модернизации на рубеже XIX –XX вв. Программа индустриализации С. Ю. Витте. Реформы П. А. Столыпина.

2.Революция 1905–1907 гг. в России. Становление многопартийности и парламентаризма в России.

3. Внешняя политика. Первая мировая война.

4.Февральская революция 1917 года. Октябрь 1917 года: приход к власти большевиков.

5.Гражданская война в России и первое десятилетие Советской власти

6. Новая экономическая политика: цели, направления, результаты.

7.Социально-экономические преобразования в СССР:

а) индустриализация страны: необходимость, источники, методы, итоги;

б) коллективизация сельского хозяйства;

в) формирование и упрочение административно-бюрократической системы.

8. Политическая система СССР в 1930-е годы. Завершение «культурной революции».

9. Образование СССР. Внешняя политика СССР в 1930-е гг.

10. СССР во Второй мировой войне

а) подготовка страны к войне, этапы войны;

б) крупнейшие сражения, партизанское движение, работа тыла;

в) СССР и союзники во Второй мировой войне;

г) итоги войны, цена Великой победы.

11. СССР в послевоенный период

12. Социально-экономическое и общественно-политическое развитие СССР в 1946–1953 гг.

13.Успехи и противоречия социально-экономического и внешне-политического развития страны под руководством Н. С. Хрущева

14. Советское общество в эпоху «застоя» в период руководства Л.И. Брежнева

15. СССР в середине 1980-1990 гг.

а) Экономические преобразования в стране. Политика «ускорения». «Перестройка» в СССР.

б) Концепция «Нового политического мышления» и ее претворение в жизнь.

в) Реформирование политической системы. Распад СССР.

Тема 17. Россия и мир в начале XXI в.

1. Геополитические последствия распада СССР. Провозглашение суверенитета Российской Федерации. 2.Формирование новой государственности. Конституция 1993 г.

3. Социально-экономические преобразования. Рыночная модернизация страны.

4. Внешнеполитическая деятельность в условиях новой геополитической ситуации. Россия и мир на рубеже XX– XXI.

ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Объект, предмет, основные понятия и методы исследования истории

История
Исторический факт
Исторический источник
Интерпретация
Этнос
Менталитет
Государство
Цивилизация
Формация
Классы
Прогресс
Регресс
Общественно-экономическая формация
Геополитика

Тема 2. Славянский этногенез. Образование государства у восточных славян

Великое переселение народов

Этногенез
Военная демократия
Язычество
Полюдье
Повоз
Погосты и уроки
Феодализм
Варяги
Вервь
Вече
Племенной союз
Государство
Князь
Русь
Волхвы
Анты и венеды
Отроки
Смерды
Закупы
Рядовичи
Холопы

Тема 3. Киевская Русь

«Русская правда»
Вотчина
Боярская дума
Децентрализация
Уделы
Централизация
Поместье
Воевода
Ремесло
Феодализм
Феодальные отношения
Усложнение социальной структуры
Культура народная, культура религиозная
Фольклор
Храм
Икона фреска
Летописание
Эволюция государственности
Хазары, половцы, печенеги

Тема 4. Русь в эпоху феодальной раздробленности

Великий князь

Княжеский двор
Дружина
Междоусобные войны
Феодальная раздробленность
Феодальные центры
Боярская республика
Посадник
Тысяцкий
Сепаратизм
Последствия раздробленности
Держава Чингисхана
Золотая Орда
Монголо-татарское нашествие
Баскак
Выход
Подушная подать
Монголо-татарское иго
Ярлык
Проблема взаимовлияния
Вторжения с северо-запада
Ливонский орден
Рыцари

Тема 5. Складывание Московского государства в XIV - XVI вв. (XIV – начало XVI вв.)

Централизация
Приказы
Поместье
Дворяне
Местничество
Кормление
Крепостное право
Боярская дума
Натуральное хозяйство
Судебник
Государев дворец
Государева казна
Государственные символы
«Москва – третий Рим»
Сословно-представительная монархия
Земский собор
Митрополит
Крепостное право
Венчание на царство
Избранная рада

Реформа
Приказы
Стрелецкое войско
Стоглав
Опричнина
Губные избы
Династический кризис

Тема 6. Российское государство в XVII в.

Смутное время
Интервенция
Крестьянская война
Семибоярщина
Самозванство
Народное ополчение
Сословно-представительная монархия
Патриарх
«Бунташный век»
Тягло
Урочные и заповедные лета
Мануфактуры
Юридическое закрепощение крестьян
Личная зависимость
Внеэкономическая эксплуатация
Стрельцы
Казаки
Полки нового строя
Раскол в Русской православной церкви
Старообрядчество
Ярмарка
Абсолютная монархия

Тема 7. Россия в XVIII в.

Абсолютизм
Империя
Регулярная армия
Синод
Сенат
Министерства
Коллегии
«Великое посольство»
Подушная подать
Табель о рангах
Рекруты
Ассамблеи

Кунсткамера
Протекционизм
Меркантилизм
Государственная монополия
Дворцовые перевороты
Гвардия
Верховный Тайный совет
Кондиции
«Бироновщина»
Просвещенный абсолютизм
Уложенная комиссия
Жалованная грамота
Приписные крестьяне
Обер-прокурор
Господствующее сословие
Податные сословия
Крестьянская война

Тема 8. Россия в XIX в.

Либеральные реформы
Конституционализм
Негласный комитет
Государственный Совет
Отечественная война
Конституция
Монархия
Крестьянский вопрос
Либерализм
Аракчеевщина
Реакция
Консерватизм
Общественное движение
Декабристы
Западники
Славянофилы
Теория «официальной народности»
Восточный вопрос
Бюрократизация
Кодификация
Финансовая реформа Е.Ф. Канкрина
Буржуазия
Капитализм
Рабочий класс
Промышленный переворот
Крестьянская реформа

Выкупные платежи
Временно-обязанные крестьяне
Уставные грамоты
Крестьянская община
Народничество, радикализм
Рабочее движение
Марксизм
Социал-демократия
Контрреформы
Легитимность
Выкупная сделка
Мировой суд
Земство
Всесословная воинская повинность
Буржуазия, пролетариат
Индустриализация и модернизация
Союз трех императоров

Тема 9. Россия в XX веке.

Монополия
Промышленный подъем
Депрессия
Модернизация
Революция
Манифест
Конституционная монархия
Политическая партия
Государственная Дума
Прогрессивный блок
Революционные партии
Антанта
Тройственный союз
Аграрная реформа
Отруб, хутор
Советы
Большевики, меньшевики
Временное правительство
Республика
Двоевластие
Учредительное собрание
Первая Мировая война

Совет народных комиссаров
Красная Армия
Белое движение

Гражданская война
Сепаратный мирный договор
Иностранная интервенция
Мировая революция
Декреты
Военный коммунизм
Продразверстка
Авторитаризм
Тоталитаризм
Коминтерн
Новая экономическая политика
Продналог
Индустриализация
Коллективизация
Культурная революция
«Мюнхенский сговор»
Лига Наций
Коллективная безопасность
Вторая Мировая война
Пакт о ненападении
Государственный Комитет обороны, Ставка Верховного главнокомандования
Эвакуация
Антигитлеровская коалиция
Второй фронт
Коренной перелом
Партизанское движение, подпольное движение
Сопротивление
Фашизм, японский милитаризм
Ленд-лиз
Капитуляция
ООН
НАТО, ОВД
Репрессии
Либерализация политического режима
Десталинизация
Денежная реформа
Мировая социалистическая система
«Оттепель»
ГУЛАГ
Реабилитация
«Холодная война»
Совхоз
Целина
Мелиорация

Спутник
Освоение космоса
Паритет
Правозащитное движение
Диссиденты
Развитой социализм
Герантократия
Разрядка
«Теневая экономика»
Концепция развитого социализма
Разрядка международной напряженности
Стабильность кадров
Реформа хозяйственного механизма
Экстенсивный путь развития
Страны социалистической ориентации
Перестройка
Гласность
«Новое политическое мышление»
Плюрализм
СНГ
Приватизация
Прибыль и рентабельность
Госприемка
«Шоковая терапия»
Ваучер
Распад СССР
Многопартийность
Возрождение парламентаризма
Рыночная экономика
Борьба с экстремизмом и терроризмом
Дефолт
Стабилизация
Финансовый кризис
Содружество Независимых государств

Тема 17. Россия и мир в начале XXI в.

Правовое государство
Гражданское общество
Рыночная экономика
Дефолт
Вертикаль власти
Олигархи
Глобализация
Совет Федерация
Государственная Дума

Совет Европы
ВТО

САМООРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ С ЛИТЕРАТУРОЙ

Самостоятельное изучение тем курса осуществляется на основе списка рекомендуемой литературы к дисциплине. При работе с книгой необходимо научиться правильно ее читать, вести записи. Самостоятельная работа с учебными и научными изданиями профессиональной и общекультурной тематики – это важнейшее условие формирования научного способа познания.

Основные приемы работы с литературой можно свести к следующим:

• составить перечень книг, с которыми следует познакомиться;

• перечень должен быть систематизированным (что необходимо для семинаров, что для экзаменов, что пригодится для написания курсовых и выпускных квалификационных работ (ВКР), а что выходит за рамками официальной учебной деятельности, и расширяет общую культуру);

• обязательно выписывать все выходные данные по каждой книге (при написании курсовых и выпускных квалификационных работ это позволит экономить время);

• определить, какие книги (или какие главы книг) следует прочитать более внимательно, а какие – просто просмотреть;

• при составлении перечней литературы следует посоветоваться с преподавателями и руководителями ВКР, которые помогут сориентироваться, на что стоит обратить большее внимание, а на что вообще не стоит тратить время;

• все прочитанные монографии, учебники и научные статьи следует конспектировать, но это не означает, что надо конспектировать «все подряд»: можно выписывать кратко основные идеи автора и иногда приводить наиболее яркие и показательные цитаты (с указанием страниц);

• если книга – собственная, то допускается делать на полях книги краткие пометки или же в конце книги, на пустых страницах просто сделать свой «предметный указатель», где отмечаются наиболее интересные мысли и обязательно указываются страницы в тексте автора;

• следует выработать способность «воспринимать» сложные тексты; для этого лучший прием – научиться «читать медленно», когда понятно каждое прочитанное слово (а если слово незнакомое, то либо с помощью словаря, либо с помощью преподавателя обязательно его узнать). Таким образом, чтение текста является частью познавательной деятельности. Ее цель – извлечение из текста необходимой информации.

От того, насколько осознанна читающим собственная внутренняя установка при обращении к печатному слову (найти нужные сведения, усвоить информацию полностью или частично, критически проанализировать материал и т.п.) во многом зависит эффективность осуществляемого действия. Грамотная работа с книгой, особенно если речь

идет о научной литературе, предполагает соблюдение ряда правил, для овладения которыми необходимо настойчиво учиться. Это серьёзный, кропотливый труд. Прежде всего, при такой работе невозможен формальный, поверхностный подход. Не механическое заучивание, не простое накопление цитат, выдержек, а сознательное усвоение прочитанного, осмысление его, стремление дойти до сути – вот главное правило. Другое правило – соблюдение при работе над книгой определенной последовательности. Вначале следует ознакомиться с оглавлением, содержанием предисловия или введения. Это дает общую ориентировку, представление о структуре и вопросах, которые рассматриваются в книге.

Следующий этап – чтение. Первый раз целесообразно прочитать книгу с начала до конца, чтобы получить о ней цельное представление. При повторном чтении происходит постепенное глубокое осмысление каждой главы, критического материала и позитивного изложения; выделение основных идей, системы аргументов, наиболее ярких примеров и т.д. Непременным правилом чтения должно быть выяснение незнакомых слов, терминов, выражений, неизвестных имен, названий. Студентам с этой целью рекомендуется заводить специальные тетради или блокноты. Важная роль в связи с этим принадлежит библиографической подготовке студентов. Она включает в себя умение активно, быстро пользоваться научным аппаратом книги, справочными изданиями, каталогами, умение вести поиск необходимой информации, обрабатывать и систематизировать ее.

Выделяют четыре основные установки в чтении текста:

- информационно-поисковая (задача – найти, выделить искомую информацию);
- усваивающая (усилия читателя направлены на то, чтобы как можно полнее осознать и запомнить, как сами сведения, излагаемые автором, так и всю логику его рассуждений);
- аналитико-критическая (читатель стремится критически осмыслить материал, проанализировав его, определив свое отношение к нему);
- творческая (создает у читателя готовность в том или ином виде – как отправной пункт для своих рассуждений, как образ для действия по аналогии и т.п. – использовать суждения автора, ход его мыслей, результат наблюдения, разработанную методику, дополнить их, подвергнуть новой проверке).

С наличием различных установок обращения к тексту связано существование и нескольких видов чтения:

- библиографическое – просматривание карточек каталога, рекомендательных списков, сводных списков журналов и статей за год и т.п.;
- просмотровое – используется для поиска материалов, содержащих нужную информацию, обычно к нему прибегают сразу после работы со списками литературы и каталогами, в результате такого просмотра читатель устанавливает, какие из источников будут использованы в дальнейшей работе;

- ознакомительное – подразумевает сплошное, достаточно подробное прочтение отобранных статей, глав, отдельных страниц; цель – познакомиться с характером информации, узнать, какие вопросы вынесены автором на рассмотрение, провести сортировку материала;

- изучающее – предполагает доскональное освоение материала; в ходе такого чтения проявляется доверие читателя к автору, готовность принять изложенную информацию, реализуется установка на предельно полное понимание материала;

- аналитико-критическое и творческое чтение – два вида чтения близкие между собой тем, что участвуют в решении исследовательских задач.

Первый из них предполагает направленный критический анализ, как самой информации, так и способов ее получения и подачи автором; второе – поиск тех суждений, фактов, по которым, или, в связи с которыми, читатель считает нужным высказать собственные мысли.

Из всех рассмотренных видов чтения основным для студентов является изучающее – именно оно позволяет в работе с учебной и научной литературой накапливать знания в различных областях. Вот почему именно этот вид чтения в рамках образовательной деятельности должен быть освоен в первую очередь. Кроме того, при овладении данным видом чтения формируются основные приемы, повышающие эффективность работы с текстом. Научная методика работы с литературой предусматривает также ведение записи прочитанного. Это позволяет привести в систему знания, полученные при чтении, сосредоточить внимание на главных положениях, зафиксировать, закрепить их в памяти, а при необходимости вновь обратиться к ним.

Основные виды систематизированной записи прочитанного:

Аннотирование – предельно краткое связное описание просмотренной или прочитанной книги (статьи), ее содержания, источников, характера и назначения.

Планирование – краткая логическая организация текста, раскрывающая содержание и структуру изучаемого материала.

Тезирование – лаконичное воспроизведение основных утверждений автора без привлечения фактического материала.

Цитирование – дословное выписывание из текста выдержек, извлечений, наиболее существенно отражающих ту или иную мысль автора.

Конспектирование – краткое и последовательное изложение содержания прочитанного. Конспект – сложный способ изложения содержания книги или статьи в логической последовательности. Конспект аккумулирует в себе предыдущие виды записи, позволяет всесторонне охватить содержание книги, статьи. Поэтому умение составлять план, тезисы, делать выписки и другие записи определяет и технологию составления конспекта.

Как правильно составлять конспект? Внимательно прочитайте текст. Уточните в справочной литературе непонятные слова. При записи не

забудьте вынести справочные данные на поля конспекта. Выделите главное, составьте план, представляющий собой перечень заголовков, подзаголовков, вопросов, последовательно раскрываемых затем в конспекте. Это первый элемент конспекта. Вторым элементом конспекта являются тезисы. Тезис - это кратко сформулированное положение. Для лучшего усвоения и запоминания материала следует записывать тезисы своими словами. Тезисы, выдвигаемые в конспекте, нужно доказывать. Поэтому третий элемент конспекта - основные доводы, доказывающие истинность рассматриваемого тезиса. В конспекте могут быть положения и примеры. Законспектируйте материал, четко следуя пунктам плана. При конспектировании старайтесь выразить мысль своими словами. Записи следует вести четко, ясно. Грамотно записывайте цитаты. Цитируя, учитывайте лаконичность, значимость мысли. При оформлении конспекта необходимо стремиться к емкости каждого предложения. Мысли автора книги следует излагать кратко, заботясь о стиле и выразительности написанного. Число дополнительных элементов конспекта должно быть логически обоснованным, записи должны распределяться в определенной последовательности, отвечающей логической структуре произведения. Для уточнения и дополнения необходимо оставлять поля.

Конспектирование - наиболее сложный этап работы. Овладение навыками конспектирования требует от студента целеустремленности, повседневной самостоятельной работы. Конспект ускоряет повторение материала, экономит время при повторном, после определенного перерыва, обращении к уже знакомой работе. Учитывая индивидуальные особенности каждого студента, можно дать лишь некоторые, наиболее оправдавшие себя общие правила, с которыми преподаватель и обязан познакомить студентов:

1. Главное в конспекте не объем, а содержание. В нем должны быть отражены основные принципиальные положения источника, то новое, что внес его автор, основные методологические положения работы. Умение излагать мысли автора сжато, кратко и собственными словами приходит с опытом и знаниями. Но их накоплению помогает соблюдение одного важного правила – не торопиться записывать при первом же чтении, вносить в конспект лишь то, что стало ясным.

2. Форма ведения конспекта может быть самой разнообразной, она может изменяться, совершенствоваться. Но начинаться конспект всегда должен с указания полного наименования работы, фамилии автора, года и места издания; цитаты берутся в кавычки с обязательной ссылкой на страницу книги.

3. Конспект не должен быть «слепым», безликим, состоящим из сплошного текста. Особо важные места, яркие примеры выделяются цветным подчеркиванием, взятием в рамочку, оттенением, пометками на полях специальными знаками, чтобы можно было быстро найти нужное положение. Дополнительные материалы из других источников можно давать на полях, где записываются свои суждения, мысли, появившиеся уже после составления конспекта.

ПОДГОТОВКА ДОКЛАДА

Одной из форм текущего контроля является доклад, который представляет собой продукт самостоятельной работы студента.

Доклад - это публичное выступление по представлению полученных результатов решения определенной учебно-практической, учебно-исследовательской или научной темы.

Как правило, в основу доклада ложится анализ литературы по проблеме. Он должен носить характер краткого, но в то же время глубоко аргументированного устного сообщения. В нем студент должен, по возможности, полно осветить различные точки зрения на проблему, выразить собственное мнение, сделать критический анализ теоретического и практического материала.

Подготовка доклада является обязательной для обучающихся, если доклад указан в перечне форм текущего контроля успеваемости в рабочей программе дисциплины.

Доклад должен быть рассчитан на 7-10 минут.

Обычно доклад сопровождается представлением презентации.

Презентация (от англ. «presentation» - представление) - это набор цветных слайдов на определенную тему, который хранится в файле специального формата с расширением PP.

Целью презентации - донести до целевой аудитории полноценную информацию об объекте презентации, изложенной в докладе, в удобной форме.

Перечень примерных тем докладов с презентацией представлен в рабочей программе дисциплины, он выдается обучающимся заблаговременно вместе с методическими указаниями по подготовке. Темы могут распределяться студентами самостоятельно (по желанию), а также закрепляться преподавателем дисциплины.

При подготовке доклада с презентацией обучающийся должен продемонстрировать умение самостоятельного изучения отдельных вопросов, структурирования основных положений рассматриваемых проблем, публичного выступления, позиционирования себя перед коллективом, навыки работы с библиографическими источниками и оформления научных текстов.

В ходе подготовки к докладу с презентацией обучающемуся необходимо:

- выбрать тему и определить цель выступления.

Для этого, остановитесь на теме, которая вызывает у Вас больший интерес; определите цель выступления; подумайте, достаточно ли вы знаете по выбранной теме или проблеме и сможете ли найти необходимый материал;

- осуществить сбор материала к выступлению.

Начинайте подготовку к докладу заранее; обращайтесь к справочникам, энциклопедиям, научной литературе по данной проблеме; записывайте необходимую информацию на отдельных листах или тетради;

- организовать работу с литературой.

При подборе литературы по интересующей теме определить конкретную цель поиска: что известно по данной теме? что хотелось бы узнать? для чего нужна эта информация? как ее можно использовать в практической работе?

- во время изучения литературы следует: записывать вопросы, которые возникают по мере ознакомления с источником, а также ключевые слова, мысли, суждения; представлять наглядные примеры из практики;

- обработать материал.

Учитывайте подготовку и интересы слушателей; излагайте правдивую информацию; все мысли должны быть взаимосвязаны между собой.

При подготовке доклада с презентацией особо необходимо обратить внимание на следующее:

- подготовка доклада начинается с изучения источников, рекомендованных к соответствующему разделу дисциплины, а также специальной литературы для докладчика, список которой можно получить у преподавателя;

- важно также ознакомиться с имеющимися по данной теме монографиями, учебными пособиями, научными информационными статьями, опубликованными в периодической печати.

Относительно небольшой объем текста доклада, лимит времени, отведенного для публичного выступления, обусловливает потребность в тщательном отборе материала, умелом выделении главных положений в содержании доклада, использовании наиболее доказательных фактов и убедительных примеров, исключении повторений и многословия.

Решить эти задачи помогает составление развернутого плана.

План доклада должен содержать следующие главные компоненты: краткое вступление, вопросы и их основные тезисы, заключение, список литературы.

После составления плана можно приступить к написанию текста. Во вступлении важно показать актуальность проблемы, ее практическую значимость. При изложении вопросов темы раскрываются ее основные положения. Материал содержания вопросов полезно располагать в таком порядке: тезис; доказательство тезиса; вывод и т. д.

Тезис - это главное основополагающее утверждение. Он обосновывается путем привлечения необходимых цитат, цифрового материала, ссылок на статьи. При изложении содержания вопросов особое внимание должно быть обращено на раскрытие причинно-следственных связей, логическую последовательность тезисов, а также на формулирование окончательных выводов. Выводы должны быть краткими, точными, достаточно аргументированными всем содержанием доклада.

В процессе подготовки доклада студент может получить консультацию у преподавателя, а в случае необходимости уточнить отдельные положения.

Выступление

При подготовке к докладу перед аудиторией необходимо выбрать способ выступления:

- устное изложение с опорой на конспект (опорой могут также служить заранее подготовленные слайды);
- чтение подготовленного текста.

Чтение заранее написанного текста значительно уменьшает влияние выступления на аудиторию. Запоминание написанного текста заметно сковывает выступающего и привязывает к заранее составленному плану, не давая возможности откликаться на реакцию аудитории.

Короткие фразы легче воспринимаются на слух, чем длинные.

Необходимо избегать сложных предложений, причастных и деепричастных оборотов. Излагая сложный вопрос, нужно постараться передать информацию по частям.

Слова в речи надо произносить четко и понятно, не надо говорить слишком быстро или, наоборот, растягивать слова. Надо произнести четко особенно ударную гласную, что оказывает наибольшее влияние на разборчивость речи.

Пауза в устной речи выполняет ту же роль, что знаки препинания в письменной. После сложных выводов или длинных предложений необходимо сделать паузу, чтобы слушатели могли вдуматься в сказанное или правильно понять сделанные выводы. Если выступающий хочет, чтобы его понимали, то не следует говорить без паузы дольше, чем пять с половиной секунд.

Особое место в выступлении занимает обращение к аудитории. Известно, что обращение к собеседнику по имени создает более доверительный контекст деловой беседы. При публичном выступлении также можно использовать подобные приемы. Так, косвенными обращениями могут служить такие выражения, как «Как Вам известно», «Уверен, что Вас это не оставит равнодушными». Выступающий показывает, что слушатели интересны ему, а это самый простой путь достижения взаимопонимания.

Во время выступления важно постоянно контролировать реакцию слушателей. Внимательность и наблюдательность в сочетании с опытом позволяют оратору уловить настроение публики. Возможно, рассмотрение некоторых вопросов придется сократить или вовсе отказаться от них.

После выступления нужно быть готовым к ответам на возникшие у аудитории вопросы.

Стоит обратить внимание на вербальные и невербальные составляющие общения. Небрежность в жестах недопустима. Жесты могут быть приглашающими, отрицающими, вопросительными, они могут подчеркнуть нюансы выступления.

Презентация

Презентация наглядно сопровождает выступление.

Этапы работы над презентацией могут быть следующими:

- осмыслите тему, выделите вопросы, которые должны быть освещены в рамках данной темы;
- составьте тезисы собранного материала. Подумайте, какая часть информации может быть подкреплена или полностью заменена изображениями, какую информацию можно представить в виде схем;
- подберите иллюстративный материал к презентации: фотографии, рисунки, фрагменты художественных и документальных фильмов, материалы кинохроники, разработайте необходимые схемы;
- подготовленный материал систематизируйте и «упакуйте» в отдельные блоки, которые будут состоять из собственно текста (небольшого по объему), схем, графиков, таблиц и т.д.;
- создайте слайды презентации в соответствии с необходимыми требованиями;
- просмотрите презентацию, оцените ее наглядность, доступность, соответствие языковым нормам.

Требования к оформлению презентации

Компьютерную презентацию, сопровождающую выступление докладчика, удобнее всего подготовить в программе MS Power Point.

Презентация как документ представляет собой последовательность сменяющих друг друга слайдов. Чаще всего демонстрация презентации проецируется на большом экране, реже – раздается собравшимся как печатный материал.

Количество слайдов должно быть пропорционально содержанию и продолжительности выступления (например, для 5-минутного выступления рекомендуется использовать не более 10 слайдов).

На первом слайде обязательно представляется тема выступления и сведения об авторах.

Следующие слайды можно подготовить, используя две различные стратегии их подготовки:

1-я стратегия: на слайды выносится опорный конспект выступления и ключевые слова с тем, чтобы пользоваться ими как планом для выступления. В этом случае к слайдам предъявляются следующие требования:

- объем текста на слайде – не больше 7 строк;
- маркированный/нумерованный список содержит не более 7 элементов;
- отсутствуют знаки пунктуации в конце строк в маркированных и нумерованных списках;
- значимая информация выделяется с помощью цвета, кегля, эффектов анимации.

Особо внимательно необходимо проверить текст на отсутствие ошибок и опечаток. Основная ошибка при выборе данной стратегии состоит в том, что выступающие заменяют свою речь чтением текста со слайдов.

2-я стратегия: на слайды помещается фактический материал (таблицы, графики, фотографии и пр.), который является уместным и достаточным средством наглядности, помогает в раскрытии стержневой идеи выступления. В этом случае к слайдам предъявляются следующие требования:

- выбранные средства визуализации информации (таблицы, схемы, графики и т. д.) соответствуют содержанию;
- использованы иллюстрации хорошего качества (высокого разрешения), с четким изображением (как правило, никто из присутствующих не заинтересован вчитываться в текст на ваших слайдах и всматриваться в мелкие иллюстрации).

Максимальное количество графической информации на одном слайде – 2 рисунка (фотографии, схемы и т.д.) с текстовыми комментариями (не более 2 строк к каждому). Наиболее важная информация должна располагаться в центре экрана.

Обычный слайд, без эффектов анимации, должен демонстрироваться на экране не менее 10 - 15 секунд. За меньшее время аудитория не успеет осознать содержание слайда.

Слайд с анимацией в среднем должен находиться на экране не меньше 40 – 60 секунд (без учета времени на случайно возникшее обсуждение). В связи с этим лучше настроить презентацию не на автоматический показ, а на смену слайдов самим докладчиком.

Особо тщательно необходимо отнестись к оформлению презентации. Для всех слайдов презентации по возможности необходимо использовать один и тот же шаблон оформления, кегль – для заголовков - не меньше 24 пунктов, для информации - не менее 18.

В презентациях не принято ставить переносы в словах.

Наилучшей цветовой гаммой для презентации являются контрастные цвета фона и текста (белый фон – черный текст; темно-синий фон – светло-желтый текст и т. д.).

Лучше не смешивать разные типы шрифтов в одной презентации.

Рекомендуется не злоупотреблять прописными буквами (они читаются хуже).

ПОДГОТОВКА К ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫМ ЗАДАНИЯМ

Практико-ориентированные задания выступают средством формирования у студентов системы интегрированных умений и навыков, необходимых для освоения профессиональных компетенций. Это могут быть ситуации, требующие применения умений и навыков, специфичных для соответствующего профиля обучения (знания содержания предмета), ситуации, требующие организации деятельности, выбора её оптимальной

структуры личностно-ориентированных ситуаций (нахождение нестандартного способа решения).

Кроме этого, они выступают средством формирования у студентов умений определять, разрабатывать и применять оптимальные методы решения профессиональных задач. Они строятся на основе ситуаций, возникающих на различных уровнях осуществления практики и формулируются в виде производственных поручений (заданий).

Под практико-ориентированными задания понимают задачи из окружающей действительности, связанные с формированием практических навыков, необходимых в повседневной жизни, в том числе с использованием элементов производственных процессов.

Цель практико-ориентированных заданий – приобретение умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Задачи практико-ориентированных заданий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний студентов при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- обучение приемам решения практических задач;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Важными отличительными особенностями практико-ориентированных задания от стандартных задач (предметных, межпредметных, прикладных) являются:

- значимость (познавательная, профессиональная, общекультурная, социальная) получаемого результата, что обеспечивает познавательную мотивацию обучающегося;
- условие задания сформулировано как сюжет, ситуация или проблема, для разрешения которой необходимо использовать знания из разных разделов основного предмета, из другого предмета или из жизни, на которые нет явного указания в тексте задания;
- информация и данные в задании могут быть представлены в различной форме (рисунок, таблица, схема, диаграмма, график и т.д.), что потребует распознавания объектов;
- указание (явное или неявное) области применения результата, полученного при решении задания.

Кроме выделенных четырех характеристик, практико-ориентированные задания имеют следующие:

1. по структуре эти задания – нестандартные, т.е. в структуре задания не все его компоненты полностью определены;

2. наличие избыточных, недостающих или противоречивых данных в условии задания, что приводит к объемной формулировке условия;

3. наличие нескольких способов решения (различная степень рациональности), причем данные способы могут быть неизвестны учащимся, и их потребуется сконструировать.

При выполнении практико-ориентированных заданий следует руководствоваться следующими общими рекомендациями:

- для выполнения практико-ориентированного задания необходимо внимательно прочитать задание, повторить лекционный материал по соответствующей теме, изучить рекомендуемую литературу, в т.ч. дополнительную;

- выполнение практико-ориентированного задания включает постановку задачи, выбор способа решения задания, разработку алгоритма практических действий, программы, рекомендаций, сценария и т. п.;

- если практико-ориентированное задание выдается по вариантам, то получить номер варианта исходных данных у преподавателя; если нет вариантов, то нужно подобрать исходные данные самостоятельно, используя различные источники информации;

- для выполнения практико-ориентированного задания может использоваться метод малых групп. Работа в малых группах предполагает решение определенных образовательных задач в рамках небольших групп с последующим обсуждением полученных результатов. Этот метод развивает навыки сотрудничества, достижения компромиссного решения, аналитические способности.

Примером практико-ориентированного задания по дисциплине «*История России*» выступает **анализ исторического документа.**

Алгоритм анализа исторического документа:

1. Происхождение текста.

1.1. Кто написал этот текст?

1.2. Когда он был написан?

1.3. К какому виду источников он относится: письмо, дневник, официальный документ и т.п.?

2. Содержание текста.

Каково содержание текста? Сделайте обзор его структуры. Подчеркните наиболее важные слова, персоналии, события. Если вам не известны какие-то слова, поработайте со словарем.

3. Достоверна ли информация в тексте?

3.1. Свидетелем первой или второй очереди является автор текста? (Если автор присутствовал во время события, им описываемого, то он является первоочередным свидетелем).

3.2. Текст первичен или вторичен? (Первичный текст современен событию, вторичный текст берет информацию из различных первичных источников. Первичный текст может быть написан автором второй очереди, то есть созданным много позже самого события).

4. Раскройте значение источника и содержащейся в ней информации.

5. Дайте обобщающую оценку данному источнику.

- Когда, где и почему появился закон (сборник законов)?
- Кто автор законов?
- Чьи интересы защищает закон?
- Охарактеризуйте основные положения закона (ссылки на текст, цитирование).
- Сравните с предыдущими законами.
- Что изменилось после введения закона?
- Ваше отношение к этому законодательному акту (справедливость, необходимость и т.д.).

ПОДГОТОВКА К ТЕСТИРОВАНИЮ

Тесты – это вопросы или задания, предусматривающие конкретный, краткий, четкий ответна имеющиеся эталоны ответов. При самостоятельной подготовке к тестированию студенту необходимо:

1. готовясь к тестированию, проработать информационный материал по дисциплине; проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора учебной литературы;

2. четко выяснить все условия тестирования заранее. Студент должен знать, сколько тестов ему будет предложено, сколько времени отводится на тестирование, какова система оценки результатов и т. д.;

3. приступая к работе с тестами, внимательно и до конца нужно прочитать вопрос и предлагаемые варианты ответов; выбрать правильные (их может быть несколько); на отдельном листке ответов вписать цифру вопроса и буквы, соответствующие правильным ответам;

- в процессе решения желательно применять несколько подходов в решении задания. Это позволяет максимально гибко оперировать методами решения, находя каждый раз оптимальный вариант;
- не нужно тратить слишком много времени на трудный вопрос, нужно переходить к другим тестовым заданиям; к трудному вопросу можно обратиться в конце;
- обязательно необходимо оставить время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

ПОДГОТОВКА ЭССЕ

Эссе - прозаическое сочинение небольшого объема и свободной композиции на частную тему, трактуемую субъективно и обычно неполно. (Словарь Ожегова)

Жанр эссе предполагает свободу творчества: позволяет автору в свободной форме излагать мысли, выражать свою точку зрения, субъективно оценивать, оригинально освещать материал; это размышление по поводу

когда-то нами услышанного, прочитанного или пережитого, часто это разговор вслух, выражение эмоций и образность.

Уникальность этого жанра в том, что оно может быть написано на любую тему и в любом стиле. На первом плане эссе − личность автора, его мысли, чувства, отношение к миру. Однако необходимо найти оригинальную идею (даже на традиционном материале), нестандартный взгляд на какую-либо проблему. Для грамотного, интересного эссе необходимо соблюдение некоторых правил и рекомендаций.

Особенности эссе:

- - наличие конкретной темы или вопроса;
- - личностный характер восприятия проблемы и её осмысления;
- - небольшой объём;
- - свободная композиция;
- - непринуждённость повествования;
- - внутреннее смысловое единство;
- - афористичность, эмоциональность речи.

Эссе должно иметь следующую структуру:

1. Вступление (введение) определяет тему эссе и содержит определения основных встречающихся понятий.

2. Содержание (основная часть) - аргументированное изложение основных тезисов. Основная часть строится на основе аналитической работы, в том числе - на основе анализа фактов. Наиболее важные обществоведческие понятия, входящие в эссе, систематизируются, иллюстрируются примерами. Суждения, приведенные в эссе, должны быть доказательны.

3. Заключение - это окончательные выводы по теме, то, к чему пришел автор в результате рассуждений. Заключение суммирует основные идеи. Заключение может быть представлено в виде суммы суждений, которые оставляют поле для дальнейшей дискуссии.

Требования, предъявляемые к эссе:

1. Объем эссе не должен превышать 1–2 страниц.

2. Эссе должно восприниматься как единое целое, идея должна быть ясной и понятной.

3. Необходимо писать коротко и ясно. Эссе не должно содержать ничего лишнего, должно включать только ту информацию, которая необходима для раскрытия вашей позиции, идеи.

4. Эссе должно иметь грамотное композиционное построение, быть логичным, четким по структуре.

5. Эссе должно показывать, что его автор знает и осмысленно использует теоретические понятия, термины, обобщения, мировоззренческие идеи.

6. Эссе должно содержать убедительную аргументацию для доказательства заявленной по проблеме позиции. Структура любого

доказательства включает по меньшей мере три составляющие: тезис, аргументы, вывод или оценочные суждения.

- Тезис — это сужение, которое надо доказать.
- Аргументы — это категории, которыми пользуются при доказательстве истинности тезиса.
- Вывод — это мнение, основанное на анализе фактов.
- Оценочные суждения — это мнения, основанные на наших убеждениях, верованиях или взглядах.

Приветствуется использование:

- Эпиграфа, который должен согласовываться с темой эссе (проблемой, заключенной в афоризме); дополнять, углублять лейтмотив (основную мысль), логику рассуждения вашего эссе. Пословиц, поговорок, афоризмов других авторов, также подкрепляющих вашу точку¬ зрения, мнение, логику рассуждения.
- Мнений других мыслителей, ученых, общественных и политических деятелей.
- Риторические вопросы.
- Непринужденность изложения.

Подготовка и работа над написанием эссе:

- изучите теоретический материал;
- уясните особенности заявленной темы эссе;
- продумайте, в чем может заключаться актуальность заявленной темы;
- выделите ключевой тезис и определите свою позицию по отношению к нему;
- определите, какие теоретические понятия, научные теории, термины помогут вам раскрыть суть тезиса и собственной позиции;
- составьте тезисный план, сформулируйте возникшие у вас мысли и идеи;
- для каждого аргумента подберите примеры, факты, ситуации из жизни, личного опыта, литературных произведений;
- распределите подобранные аргументы в последовательности;
- придумайте вступление к рассуждению;
- изложите свою точку зрения в той последовательности, которую вы наметили.
- сформулируйте общий вывод работы.

При написании эссе:

- напишите эссе в черновом варианте, придерживаясь оптимальной структуры;
- проанализируйте содержание написанного;
- проверьте стиль и грамотность, композиционное построение эссе, логичность и последовательность изложенного;

- внесите необходимые изменения и напишите окончательный вариант.

Требования к оформлению:

- Титульный лист.
- Текст эссе.
- Формат листов-А4. Шрифт- Times New Roman, размер-14,расстояние между строк- интерлиньяж полуторный, абзацный отступ-1,25см., поля-30мм(слева), 20мм (снизу),20мм (сверху), 20мм (справа). Страницы нумеруются снизу по центру. Титульный лист считается, но не нумеруется.

Критерии оценивания эссе:

1. Самостоятельное проведение анализа проблемы с использованием концепций и аналитического инструментария
2. Четкость и лаконичность изложения сути проблемы
3. Материал излагается логически последовательно
4. Аргументированность собственной позиции
5. Наличие выводов
6. Владение навыками письменной речи

ПОДГОТОВКА К ОПРОСУ

- ***Письменный опрос***

Письменный опрос является одной из форм текущего контроля успеваемости студента по данной дисциплине. При подготовке к письменному опросу студент должен внимательно изучает лекции, основную и дополнительную литературу, публикации, информацию из Интернет-ресурсов. Темы и вопросы к семинарским занятиям, вопросы для самоконтроля приведены в методических указаниях по разделам и доводятся до обучающихся заранее.

При изучении материала студент должен убедиться, что хорошо понимает основную терминологию темы, умеет ее использовать в нужном контексте. Желательно составить краткий конспект ответа на предполагаемые вопросы письменной работы, чтобы убедиться в том, что студент владеет материалом и может аргументировано, логично и грамотно письменно изложить ответ на вопрос. Следует обратить особое внимание на написание профессиональных терминов, чтобы избегать грамматических ошибок в работе.

- ***Устный опрос***

Целью устного собеседования являются обобщение и закрепление изученного курса. Студентам предлагаются для освещения сквозные концептуальные проблемы. При подготовке следует использовать лекционный материал и учебную литературу. Для более глубокого постижения курса и более основательной подготовки рекомендуется

познакомиться с указанной дополнительной литературой. Готовясь к семинару, студент должен, прежде всего, ознакомиться с общим планом семинарского занятия. Следует внимательно прочесть свой конспект лекции по изучаемой теме и рекомендуемую к теме семинара литературу. С незнакомыми терминами и понятиями следует ознакомиться в предлагаемом глоссарии, словаре или энциклопедии.

Критерии качества устного ответа.

1. Правильность ответа по содержанию.
2. Полнота и глубина ответа.
3. Сознательность ответа (учитывается понимание излагаемого материала).
4. Логика изложения материала (учитывается умение строить целостный, последовательный рассказ, грамотно пользоваться профессиональной терминологией).
5. Рациональность использованных приемов и способов решения поставленной учебной задачи (учитывается умение использовать наиболее прогрессивные и эффективные способы достижения цели).
6. Своевременность и эффективность использования наглядных пособий и технических средств при ответе (учитывается грамотно и с пользой применять наглядность и демонстрационный опыт при устном ответе).
7. Использование дополнительного материала.
8. Рациональность использования времени, отведенного на задание.

Ответ на каждый вопрос из плана семинарского занятия должен быть содержательным и аргументированным. Для этого следует использовать документы, монографическую, учебную и справочную литературу. Для успешной подготовки к устному опросу, студент должен законспектировать рекомендуемую литературу, внимательно осмыслить лекционный материал и сделать выводы.

ПОДГОТОВКА К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

При подготовке к *зачету* по дисциплине «*История России*» обучающемуся рекомендуется:

1. повторить пройденный материал и ответить на вопросы, используя конспект и материалы лекций. Если по каким-либо вопросам у студента недостаточно информации в лекционных материалах, то необходимо получить информацию из раздаточных материалов и/или учебников (литературы), рекомендованных для изучения дисциплины «*История России*».

Целесообразно также дополнить конспект лекций наиболее существенными и важными тезисами для рассматриваемого вопроса;

2. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *зачете* особое внимание необходимо уделять схемам, рисункам, графикам и другим иллюстрациям, так как

подобные графические материалы, как правило, в наглядной форме отражают главное содержание изучаемого вопроса;

3. при изучении основных и дополнительных источников информации в рамках выполнения заданий на *зачете* (в случаях, когда отсутствует иллюстративный материал) особое внимание необходимо обращать на наличие в тексте словосочетаний вида «во-первых», «во-вторых» и т.д., а также дефисов и перечислений (цифровых или буквенных), так как эти признаки, как правило, позволяют структурировать ответ на предложенное задание.

Подобную текстовую структуризацию материала слушатель может трансформировать в рисунки, схемы и т. п. для более краткого, наглядного и удобного восприятия (иллюстрации целесообразно отразить в конспекте лекций – это позволит оперативно и быстро найти, в случае необходимости, соответствующую информацию);

4. следует также обращать внимание при изучении материала для подготовки к *зачету* на словосочетания вида «таким образом», «подводя итог сказанному» и т.п., так как это признаки выражения главных мыслей и выводов по изучаемому вопросу (пункту, разделу). В отдельных случаях выводы по теме (разделу, главе) позволяют полностью построить (восстановить, воссоздать) ответ на поставленный вопрос (задание), так как содержат в себе основные мысли и тезисы для ответа.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой, к.п.н., доцент

_____ Л.Г. Юсупова

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

по дисциплине

Б1.О.03 ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК

Направление

15.03.06 Мехатроника и робототехника

Профиль

Мехатроника и робототехника промышленных производств

Автор: Безбородова С. А., к.п.н.

Одобрен на заседании кафедры
Иностранных языков и деловой коммуникации
(название кафедры)
Протокол № 1 от 19.09.2023 г.
(Дата)

Екатеринбург

Содержание

Цели и задачи дисциплины …….…….....3
Требования к оформлению контрольной работы ……..……..4
Содержание контрольной работы…….....4
Выполнение работы над ошибками……...…8
Критерии оценивания контрольной работы ……8
Образец титульного листа ……..…10

Цель и задачи дисциплины

Цель дисциплины: повышение исходного уровня владения иностранным языком, достигнутого на предыдущей ступени образования, и достижение уровня иноязычной коммуникативной компетенции достаточного для общения в социально-бытовой, культурной и профессиональной сферах, а также для дальнейшего самообразования.

Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины:

универсальные:

- Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(ых) языке(ах) (УК-4).

Для достижения указанной цели необходимо (задачи курса):

- владение иностранным языком как средством коммуникации в социально-бытовой, культурной и профессиональной сферах;
- развитие когнитивных и исследовательских умений с использованием ресурсов на иностранном языке;
- развитие информационной культуры;
- расширение кругозора и повышение общей гуманитарной культуры студентов;
- воспитание толерантности и уважения к духовным ценностям разных стран и народов.

Методические указания по выполнению контрольной работы предназначены для студентов очной и заочной формы обучения, обучающихся по специальности.

Письменная контрольная работа является обязательной формой *промежуточной аттестации.* Она отражает степень освоения студентом учебного материала по дисциплине Б1.О.03 Иностранный язык. А именно, в результате освоения дисциплины студент должен:

Знать:

- особенности фонетического строя иностранного языка;
- лексические единицы социально-бытовой и академической тематики, основы терминосистемы соответствующего направления подготовки;
- основные правила грамматической системы иностранного языка;
- особенности построения устных высказываний и письменных текстов разных стилей речи;
- правила речевого этикета в соответствии с ситуациями межличностного и межкультурного общения в социально-бытовой, академической и деловой сферах;
- основную страноведческую информацию о странах изучаемого языка;
- лексико-грамматические явления иностранного языка профессиональной сферы для решения задач профессиональной деятельности;

Уметь:

- вести диалог/полилог и строить монологическое высказывание в пределах изученных тем;
- понимать на слух иноязычные тексты монологического и диалогического характера с различной степенью понимания в зависимости от коммуникативной задачи;
- читать аутентичные тексты прагматического, публицистического, художественного и научного характера с целью получения значимой информации;
- передавать основное содержание прослушанного/прочитанного текста;
- записывать тезисы устного сообщения, писать эссе по изученной тематике, составлять аннотации текстов, вести личную и деловую переписку;
- использовать компенсаторные умения в процессе общения на иностранном языке;
- пользоваться иностранным языком в устной и письменной формах, как средством профессионального общения;

Владеть:

- основными приёмами организации самостоятельной работы с языковым материалом

с использованием учебной и справочной литературы, электронных ресурсов;

- навыками выполнения проектных заданий на иностранном языке в соответствии с уровнем языковой подготовки;

- умением применять полученные знания иностранного языка в своей будущей профессиональной деятельности.

Требования к оформлению контрольной работы

Контрольные задания выполняются на листах формата А4 в рукописном виде, кроме титульного листа. На титульном листе (см. образец оформления титульного листа в печатном виде) указывается фамилия студента, номер группы, номер контрольной работы и фамилия преподавателя, у которого занимается обучающийся.

В конце работы должна быть поставлена подпись студента и дата выполнения заданий.

Контрольные задания должны быть выполнены в той последовательности, в которой они даны в контрольной работе.

Выполненную контрольную работу необходимо сдать преподавателю для проверки в установленные сроки.

Если контрольная работа выполнена без соблюдения изложенных выше требований, она возвращается студенту для повторного выполнения.

По дисциплине «Иностранный язык (английский)» представлено три варианта контрольной работы.

Номер варианта контрольной работы определяется для студентов в соответствии с начальными буквами их фамилий в алфавитном порядке. Например, студенты, у которых фамилии начинаются с букв А, выполняют контрольную работу № 1 и т.д. (см. таблицу №1).

Таблица №1

начальная буква фамилии студента	***№ варианта контрольной работы***
А, Г, Ж, К, Н, Р, У, Ц, Щ	№1
Б, Д, З, Л, О, С, Ф, Ч, Э, Я	№2
В, Е, И, М, П, Т, Х, Ш, Ю	№3

Содержание контрольной работы №1

Контрольная работа проводится по теме *1. Бытовая сфера общения (Я и моя семья)* и *теме 2. Учебно-познавательная сфера общения (Я и мое образование)* и направлена на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Контрольная работа также направлена на проверку сформированности грамматического навыка в рамках тем: порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях, порядок слов в вопросительном предложении, безличные предложения, местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные), имя существительное, артикли (определенный, неопределенный, нулевой), функции и спряжение глаголов *to be* и *to have, о*борот *there+be,* имя прилагательное и наречие, степени сравнения, сравнительные конструкции, имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат), образование видовременных форм глагола в активном залоге.

Распределение выше указанных тем в учебнике:

- Агабекян И. П. Английский язык для бакалавров: учебное пособие для студентов вузов / И. П. Агабекян. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. - 384 с.: ил. - (Высшее образование) (200 экз. в библиотеке УГГУ) и учебнике:

- Журавлева Р.И. Английский язык: учебник: для студентов горно-геологических специальностей вузов / Р. И. Журавлева. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. - 508 с. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 502 (192 экз. в библиотеке УГГУ) представлено в таблице №2:

Таблица №2

Название темы	***Страницы учебников***	
	Агабекян И. П.	*Журавлева Р.И.*
Порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях	148	9
Порядок слов в вопросительном предложении	163-170	10, 24
Безличные предложения	149	440
Местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные)	41-55	101, 439
Имя существительное	66-78	435
Артикли (определенный, неопределенный, нулевой)	78-84	433
Функции и спряжение глаголов *to be* и *to have*	102-104	6-8
Оборот *there+be*	105-107	100
Имя прилагательное и наречие	115	83
Степени сравнения, сравнительные конструкции	115-121	143
Имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат)	261-271	-
Образование видовременных форм глагола в активном залоге	193-209	10, 36, 69

АНГЛИЙСКИЙ ЯЗЫК

Вариант №1

Задание 1. Заполните пропуски в предложениях, выбрав один ответ.

Пример: Michael _____ everyone he meets because he is very sociable and easygoing. He has five brothers and two sisters, so that probably helped him learn how to deal with people.

A. gets divorced; **B. gets along well with;** C. gets married;

Задание 1 направлено на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Задание 2. Заполните пропуски местоимениями some, any, no или их производными.

Пример: A: Is ***anything*** the matter with Dawn? She looks upset.

B: She had an argument with her friend today.

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «неопределённые местоимения».

Задание 3. Заполните пропуски личными местоимениями (I, we, you, he, she, it, they, me, us, him, her, them).

Пример: My teacher is very nice. I like … . – I like **him**.

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «личные и притяжательные местоимения».

Задание 4. Поставьте в правильную форму глагол, представленный в скобках, обращая при этом внимание на использованные в предложениях маркеры.

Пример: Every morning George **eats** (to eat) cereals, and his wife only **drinks** (to drink) a cup of coffee.

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «образование видовременных форм глагола в активном залоге».

Задание 5. Составьте вопросительные предложения и дайте краткие ответы на них.

Пример: Paul was tired when he got home. – ***Was Paul tired when he got home? Yes, he was.***

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «порядок слов в вопросительном предложении».

Контрольная работа
Вариант №2

Задание 1. Заполните пропуск, выбрав один вариант ответа.

Пример: A British university year is divided into three _____.

1) conferences; 2) sessions; **3) terms**; 4) periods;

Задание 1 направлено на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Задание 2. Выберите правильную форму глагола.

Пример: A: I have a Physics exam tomorrow.

B: Oh dear. Physics **is/**are a very difficult subject.

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «имя существительное, функции и спряжение глаголов to be и to have».

Задание 3. Раскройте скобки, употребив глагол в форме Present Continuous, Past Continuous или Future Continuous.

Пример: I **shall be studying** (study) Japanese online from 5 till 6 tomorrow evening.

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «образование видовременных форм глагола в активном залоге».

Задание 4. Составьте вопросы к словам, выделенным жирным шрифтом.

Пример: **The Petersons** have bought a dog. – *Who has bought a dog?*

The Petersons have bought **a dog. –** *What have the Petersons bought?*

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «порядок слов в вопросительном предложении».

Задание 5. Подчеркните правильный вариант ответа.

Пример: A: You haven't seen my bag anywhere, haven't you**/<u>have you</u>**?

B: No. You didn't leave it in the car, **<u>did you</u>/**didn't you?

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «порядок слов в вопросительном предложении».

Контрольная работа
Вариант № 3

Задание 1. Заполните пропуски, выбрав один вариант ответа.

Пример: The University accepts around 2000 new ____ every year.

1) students; 2) teachers; 3) pupils; 4) groups;

Задание 1 направлено на проверку сформированности лексического навыка в рамках заданных тем.

Задание 2. Поставьте в предложения подходящие по смыслу фразы:

as red as a beet (свекла), as slow as a turtle, as sweet as honey, as busy as a bee, as clumsy as a bear (неуклюжий), as black as coal, as cold as ice, as slippery as an eel (изворотливый как угорь), as free as a bird, as smooth as silk (гладкий)

Пример: Your friend is so unemotional, he is **as cold as ice**.

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «имя прилагательное и наречие».

Задание 3. Переведите следующие предложения на английский язык.

Пример: Это самая ценная картина в Русском музее. **This is the most valuable picture in Russian Museum.**

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «степени сравнения имени прилагательного и наречий».

Задание 4. Раскройте скобки, употребив глагол в форме Present Perfect, Past Perfect или Future Perfect.

Пример: Sam **has lost** (lose) his keys. So he can't open the door.

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «образование видовременных форм глагола в активном залоге».

Задание 5. Задайте вопросы к предложениям.

Пример: There are two books. The one on the table is Sue's.

a) 'Which *book is Sue's*?' 'The one on the table.'

b) 'Whose *book is on the table*?' 'Sue's.'

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «порядок слов в вопросительном предложении».

НЕМЕЦКИЙ ЯЗЫК

Задание 1. Заполните пропуски в предложениях, выбрав один ответ.

Пример: Mein Bruder ... Arzt geworden

A. hat; **B. ist**; C. wird;

Задание 1 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Пассивный залог».

Задание 2. Вставьте подходящее вопросительное слово.

Пример: **Was** machen Sie am Wochenende?

Задание 2 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Вопросительные местоимения».

Задание 3. Заполните пропуски возвратными местоимениями в нужной форме.

Пример: Wo wohnen d**eine** Eltern?

Задание 3 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Притяжательные местоимения».

Задание 4. Поставьте в правильную форму глагол, представленный в скобках.

Пример: **Kannst** du mir bitte die Marmelade geben? (können)

Задание 4 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Модальные глаголы».

Задание 5. Составьте вопросительные предложения и дайте краткие ответы на них.

Пример: Sie wohnen in Berlin.

Ответ: Wo wohnen Sie? Wer wohnt in Berlin?

Задание 5 направлено на проверку сформированности грамматического навыка по теме «Вопросительные предложения».

Проблемные и сложные вопросы, возникающие в процессе изучения курса и выполнения контрольной работы, необходимо решать с преподавателем на консультациях.

Выполнению контрольной работы должно предшествовать самостоятельное изучение студентом рекомендованной литературы.

Студент получает проверенную контрольную работу с исправлениями в тексте и замечаниями. В конце работы выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно». Работа с оценкой «неудовлетворительно» должна быть доработана и представлена на повторную проверку.

Выполнение работы над ошибками

При получении проверенной контрольной работы необходимо проанализировать отмеченные ошибки. Все задания, в которых были сделаны ошибки или допущены неточности, следует еще раз выполнить в конце данной контрольной работы. Контрольные работы являются учебными документами, которые хранятся на кафедре до конца учебного года.

Критерии оценивания контрольной работы

Оценка за контрольную работу определяется простым суммированием баллов за правильные ответы на вопросы: 1 правильный ответ = 1 балл. Максимум 44 балла.

Результат контрольной работы

Контрольная работа оценивается на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»:

35-44 балла (80-100%) - оценка «отлично»;

29-34 балла (65-79%) - оценка «хорошо»;

22-28 баллов (50-64%) - оценка «удовлетворительно»;

0-21 балла (0-49%) - оценка «неудовлетворительно».

Образец оформления титульного листа

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО
«Уральский государственный горный университет»

Кафедра иностранных языков и деловой коммуникации

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

по дисциплине
ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК

Направление
15.03.06 Мехатроника и робототехника

Профиль
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Выполнил: Иванов Иван Иванович
Группа МИР-24

Преподаватель: Петров Петр Петрович,
к.т.н, доцент

Екатеринбург
2024

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А.Упоров
13.10.2021 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Б1.О.03 ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК

Направление
15.03.06 Мехатроника и робототехника

Профиль
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Автор: Безбородова С. А., к.п.н.

Одобрена на заседании кафедры
Иностранных языков и деловой коммуникации
(название кафедры)
Зав.кафедрой _____
(подпись)
к.п.н., доц. Юсупова Л. Г.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 1 от 19.09.2023
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией
горно-механического факультета
(название факультета)
Председатель _____
(подпись)
Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)
Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕМА 1. Бытовая сфера общения (Я и моя семья)……..... 3
1.1 Лексические единицы, необходимые для освоения темы ……..... 3
1.2 Устные темы для развития коммуникативной компетенции ……..... 5
1.3 Систематизация грамматического материала: теория и упражнения ……... 6

ТЕМА 2. Учебно-познавательная сфера общения (Я и мое образование) ……..... 35
2.1 Лексические единицы, необходимые для освоения темы ……..... 35
2.2 Устные темы для развития коммуникативной компетенции ……..... 36
2.3 Систематизация грамматического материала: теория и упражнения ……... 38

ТЕМА 3. Социально-культурная сфера общения (Я и моя страна. Я и мир) ……..... 53
3.1 Лексические единицы, необходимые для освоения темы ……..... 53
3.2 Устные темы для развития коммуникативной компетенции ……..... 54
3.3 Систематизация грамматического материала: теория и упражнения ……... 58

ТЕМА 4. Профессиональная сфера общения (Я и моя будущая специальность) ……..... 74
4.1 Лексические единицы, необходимые для освоения темы ……..... 74
4.2 Устные темы для развития коммуникативной компетенции ……..... 82
4.3 Систематизация грамматического материала: теория и упражнения ……... 82

ТЕМА 1. Бытовая сфера общения (Я и моя семья)

Тематика общения:

1. Я и моя семья.
2. Дом, жилищные условия.
3. Мой рабочий день.
4. Досуг и развлечения.

Проблематика общения:

1. Взаимоотношения в семье, семейные традиции.
2. Устройство квартиры/загородного дома.
3. Рабочий день студента.
4. Досуг в будние и выходные дни, активный и пассивный отдых.

1.1 Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

родственник relative, relation
родители parents
мать (мама) mother (mom, mum, mama, mamma, mummy, ma)
отец (папа) father (dad, daddy, papa, pa)
жена wife
муж husband
супруг(а) spouse
ребенок, дети child, children
дочь daughter
сын son
сестра sister
брат brother
единственный ребенок only child
близнец twin
близнецы, двойняшки twins
брат-близнец twin brother
сестра-близнец twin sister
однояйцевые близнецы identical twins
тройняшки triplets
бабушка и дедушка grandparents
бабушка grandmother (grandma, granny, grandmamma)
дедушка grandfather (grandpa, granddad, grandpapa, grandad)
внуки grandchildren
внучка granddaughter
внук grandson
прабабушка great-grandmother
прадедушка great-grandfather
прабабушка и прадедушка great-grandparents
правнуки great-grandchildren
тётя aunt
дядя uncle
крестный (отец) godfather
крестная (мать) godmother
отчим, приемный отец stepfather
мачеха, приемная мать stepmother
сводный брат stepbrother
сводная сестра stepsister
брат по одному из родителей half-brother
сестра по одному из родителей half-sister

приемный, усыновленный сын adopted son
приемная, удочеренная дочь adopted daughter
приемный ребенок adopted child
патронатная семья, приемная семья foster family
приемный отец foster father
приемная мать foster mother
приемные родители foster parents
приемный сын foster son
приемная дочь foster daughter
приемный ребенок foster child
неполная семья (с одним родителем) single-parent family
родня the kin, the folks
племянница niece
племянник nephew
двоюродный брат cousin (male)
двоюродная сестра cousin (female)
двоюродный брат (сестра), кузен (кузина) first cousin
троюродный брат (сестра) second cousin
четвероюродный брат (сестра) third cousin
родня со стороны мужа или жены in-laws
свекровь mother-in-law (husband's mother)
свёкор father-in-law (husband's father)
тёща mother-in-law (wife's mother)
тесть father-in-law (wife's father)
невестка, сноха daughter-in-law
зять son-in-law
шурин, свояк, зять, деверь brother-in-law
свояченица, золовка, невестка sister-in-law
семейное положение marital status
холостой, неженатый, незамужняя single
женатый, замужняя married
брак marriage
помолвка engagement
помолвленный, обрученный engaged
развод divorce
разведенный divorced
бывший муж ex-husband
бывшая жена ex-wife
расставшиеся, не разведенные, но не проживающие одной семьей separated
вдова widow
вдовец widower
подружка, невеста girlfriend
друг, парень, ухажер boyfriend
любовник, любовница lover
ухажер, жених, подружка, невеста, обрученный fiance
свадьба wedding
невеста на свадьбе bride
жених на свадьбе (bride)groom
медовый месяц honeymoon

1.2 Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

My family

My name is Vladimir Petrov. I am … years old. I was born in 19… in Nizhniy Tagil. I went to school when I was 7. In 20… I finished school number 10 in Ekaterinburg. This year I entered the Ural State Mining University. In five years I shall graduate from this University.

I live in the center of Ekaterinburg. I work at the Ministry of Foreign Trade. I'm an engineer & I am also a student. Many engineers in our Ministry learn foreign languages.

My family is not large. I have a wife & two children. My wife's name is Ann & children's names are Nick & Natalie.

My wife is an economist. My wife is a young woman. She is twenty – nine years old. She works at the Ministry of Foreign Trade, too. She goes to the office every day. My wife doesn't learn English. She already knows English very well. She reads many English books, magazines & newspapers. My wife is also a student. She learns German. She likes languages very much & is going to learn French next year.

My daughter is a girl of ten. She goes to school. She has a lot of subjects at school. She also learns English. She also helps her mother at home.

My son is a little boy. He was born five years ago. I take him to the kindergarten every morning.

My parents are not old. My father is 53. He is an engineer. He graduated from The Ural Polytechnical Institute. He works at a big plant. My mother is 51. She is a teacher. She teaches Russian at school. She graduated from the Leningrad Teachers' Training University.

My sister's name is Katya. She works at an office. Besides she studies at an Evening Department. She is married. Her husband is a doctor. He works at a hospital. They have a little son. He is only six months old.

My elder brother, Boris by name, does not stay with us. He lives in Gorky in a large two-roomed flat. He is a designer. He has also a family of his own. He has a wife & two children: a boy & a girl. Their son is already a pupil. My brother & his family often come to see us. We also visit them sometimes.

I also have a grandfather & a grandmother. They are pensioners. My grandmother looks after the house & does the cooking. We usually take our children to the country in summer to stay with their grandparents. They love their grandchildren very much.

My student's life

I'm a student of The Ural State Mining University. I have been a student only one month. I can't speak English very well yet. I am just a beginner. I live in a hostel. It is rather a long way from the University. In fact, it takes me about an hour to get to the University. But it gives me no trouble at all, as I like to get up early. I don't need an alarm-clock to wake me up. I am an early - riser.

Though the hostel is far from the University it is very comfortable & has all modern conveniences.

As a rule I get up at 6.30, do morning exercises & have shower. I don't have a bath in the morning; I have a bath before I go to bed.

For breakfast I have a boiled egg & a cup of coffee in order not to waste the time. At about 7.30 I am quite ready to go. It is about 5 minutes walk from the hostel to the stop. I usually take the 7.40. bus. I walk to the stop as I have plenty of time to catch my bus.

I come to the University 5 minutes before the lesson begins. So I can have a chat with my friends. The majority of my group mates are from Ekaterinburg the others either come from different towns of our country. We usually have a lot of things to talk about.

We don't go out to the lunch. There is a good canteen at the University. It is on the ground floor. But I should say that you have to stand in a queue to have lunch.

I come to the hostel from the University at about 3 o'clock. I live in a single room & have nobody to speak with. In the evening I sometimes go out with my friends. We go to the cinema if there is something new or to the club if there is a dancing party there. But often I stay in, watch TV

programs or listen to the music. Then I read a book for half an hour or so & go to sleep. That doesn't take me long, as a rule.

My flat

I live in Ekaterinburg in a sixteen-storied dwelling house in the center of the city.
Five years ago our old wooden house was pulled down & we moved here into three-room flat with all modern conveniences.

Now we have running water, gas, electricity, central heating & a refuse chute. We live on the top floor & from the balcony we have a good view of the park. Besides we needn't mount the staircase because there is a lift to take us up.

The entrance hall is rather small. There is a hallstand & a mirror-stand there.

The sitting-room is a spacious simply furnished room. The floor spacious is about 15 square meters. It is not overcrowded with furniture. Everything fits in well. Nothing is out of place here. Next to the window there is a sofa with a stand – lamp. The bookcase in the corner of the room is full of books. On the left there are two comfortable arm-chairs opposite the TV-set & leaf – table.

In the bedroom we have dark brown suite of furniture of the latest model & thick carpet. Near the wall there is a divan-bed. In the built-in-wardrobe we keep our clothes & bed linen.
The adjoining room is the children's room. The bright pattern of the curtains & of wall paper makes the room look gay. There is a writing desk with a desk lamp, a small sofa & a lot of toys there.

In the kitchen there is a fridge, a cupboard, a kitchen table & a gas-stove. Over the sink there is a plate-rack. All kitchen utensils are close at hand.

In the corridor there is a built-in-closet, where we keep our vacuum-cleaner, electric iron & other household objects.

In the bathroom there is a bath-tub & a shower, a towel-rack & a wash-basin with a shelf above it. There tooth-brushes, a cake of soap & some shaving articles on it. Near the bath-room there is a lavatory.

There is nothing special about our flat, no rich decorations but we are accustomed to it & cannot compare it to the old one.

1.3 Систематизация грамматического материала:

1. Порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях. Порядок слов в вопросительном предложении. Безличные предложения.
2. Местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные).
3. Имя существительное. Артикли (определенный, неопределенный, нулевой).
4. Функции и спряжение глаголов *to be* и *to have.* Оборот *there+be*.
5. Имя прилагательное и наречие. Степени сравнения. Сравнительные конструкции.
6. Имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат).

Порядок слов в английском предложении

В русском языке, благодаря наличию падёжных окончаний, мы можем переставлять члены предложения, не меняя основного смысла высказывания. Например, предложения Студенты изучают эти планы и Эти планы изучают студенты совпадают по своему основному смыслу. Подлежащее в обоих случаях - студенты, хотя в первом предложении это слово стоит на первом месте, а во втором предложении - на последнем.

По-английски такие перестановки невозможны. Возьмём предложение The students study these plans Студенты изучают эти планы. Если подлежащее и дополнение поменяются местами, то получится бессмыслица: These plans study the students Эти планы изучают студентов. Произошло это потому, что слово plans, попав на первое место, стало подлежащим.

Английское предложение имеет твёрдый порядок слов.

Порядок слов в английском предложении показан в этой таблице:

I	II	III Дополнение	IV

					Обстоятельство
Подлежащее	**Сказуемое**	**Косвенное без предлога**	**Прямое**	**Косвенное с предлогом**	
We Мы	study изучаем		math математику		
He Он	gives дает	us нам	lessons уроки		in this room. в этой комнате
She Она	reads читает		her notes свои заметки	to Peter Петру	every day. каждый день

Вопросительное предложение

Общее правило построения вопросов в английском языке таково: Все вопросы (кроме специальных вопросов к подлежащему предложения) строятся путем инверсии. Инверсией называется нарушение обычного порядка слов в английском предложении, когда сказуемое следует за подлежащим.

В тех случаях, когда сказуемое предложения образовано без вспомогательных глаголов (в Present и Past Indefinite) используется вспомогательный глагол to do в требуемой форме - do/does/did.

Общие вопросы

Общий вопрос задается с целью получить подтверждение или отрицание высказанной в вопросе мысли. На общий вопрос обычно дается краткий ответ: "да" или "нет".

Для построения общего вопроса вспомогательный или модальный глагол, входящий в состав сказуемого, ставится в начале предложения перед подлежащим.

а) Примеры сказуемого с одним вспомогательным глаголом: Is he speaking to the teacher? - Он говорит с учителем?

б) Примеры сказуемого с несколькими вспомогательными глаголами:

You will be writing letters to us. – Ты будешь писать нам письма.

Will you be writing letters to us? – Будешь ли ты писать нам письма?

Примеры с модальными глаголами:

She can drive a car. – Она умеет водить машину.

Can she drive a car? - Она умеет водить машину? (Yes, she can.; No, she cannot)

Когда в составе сказуемого нет вспомогательного глагола (т.е. когда сказуемое выражено глаголом в Present или Past Indefinite), то перед подлежащим ставятся соответственно формы do / does или did; смысловой же глагол ставится в форме инфинитива без to (словарная форма) после подлежащего.

С появлением вспомогательного глагола do на него переходит вся грамматическая нагрузка - время, лицо, число: в Present Indefinite в 3-м лице ед. числа окончание -s, -es смыслового глагола переходит на глагол do, превращая его в does; а в Past Indefinite окончание прошедшего времени -ed переходит на do, превращая его в did.

Do you go to school? – Ходишь ли ты в школу?

Do you speak English well? - Ты хорошо говоришь по-английски?

Ответы на общие вопросы

Общий вопрос требует краткого ответа "да" или "нет", которые в английском языке образуются следующим образом:

а) Положительный состоит из слова Yes за которым (после запятой) идет подлежащее, выраженное личным местоимением в им. падеже (никогда не используется существительное) и тот вспомогательный или модальный глагол, который использовался в вопросе (вспомогательный глагол согласуется с местоимением ответа);

б) Отрицательный ответ состоит из слова No, личного местоимения и вспомогательного (или модального) глагола с последующей частицей not

Например: Are you a student? - Ты студент?

Yes, I am. - Да.; No, I am not. - Нет.

Do you know him? – Ты знаешь его?
Yes, I do. – Да (знаю).; No, I don't. – Нет (не знаю).

Специальные вопросы

Специальный вопрос начинается с вопросительного слова и задается с целью получения более подробной уточняющей информации. Вопросительное слово в специальном вопросе заменяет член предложения, к которому ставится вопрос.

Специальные вопросы могут начинаться словами:

who? – кто? whom? – кого? whose? - чей? what? – что? какой? which? – который?

when? – когда? where? – где? куда? why? – почему? how? – как?

how much? – сколько? how many? – сколько? how long? – как долго? сколько времени?

how often? – как часто?

Построение специальных вопросов:

1) Специальные вопросы ко всем членам предложения, кроме подлежащего (и его определения) строятся так же, как и общие вопросы – посредством инверсии, когда вспомогательный или модальный глагол ставится перед подлежащим.

Специальный вопрос (кроме вопроса к подлежащему) начинается с вопросительного слова или группы слов за которым следуют вспомогательный или модальный глагол, подлежащее и смысловой глагол (сохраняется структура общего вопроса).

Вопрос к прямому дополнению:

What are you reading? Что ты читаешь?

What do you want to show us? Что вы хотите показать нам?

Вопрос к обстоятельству

Обстоятельства бывают разного типа: времени, места, причины, условия, образа действия и др.

He will come back tomorrow. – Он вернется завтра.

When will he come back? – Когда он вернется?

What did he do it for? Зачем он это сделал?

Where are you from?

Вопрос к определению

Вопрос к определению начинается с вопросительных слов what какой, which (of) который (из), whose чей, how much сколько (с неисчисляемыми существительными), how many сколько (с исчисляемыми существительными). Они ставятся непосредственно перед определяемым существительным (или перед другим определением к этому существительному), а затем уже идет вспомогательный или модальный глагол.

What books do you like to read? Какие книги вы любите читать?

Which books will you take? Какие книги (из имеющихся) вы возьмете?

Вопрос к сказуемому

Вопрос к сказуемому является типовым ко всем предложениям: "Что он (она, оно, они, это) делает (делал, будет делать)?", например:

What does he do? Что он делает?

Специальные вопросы к подлежащему

Вопрос к подлежащему (как и к определению подлежащего) не требует изменения прямого порядка слов, характерного для повествовательного предложения. Просто подлежащее (со всеми его определениями) заменяется вопросительным местоимением, которое исполняет в вопросе роль подлежащего. Вопросы к подлежащему начинаются с вопросительных местоимений:

who – кто (для одушевленных существительных)

what - что (для неодушевленных существительных)

The teacher read an interesting story to the students yesterday.

Who read an interesting story to the students yesterday?

Сказуемое в таких вопросах (после who, what в роли подлежащего) всегда выражается глаголом в 3-м лице единственного числа (не забудьте про окончание -s в 3-м лице ед. числа в Present Indefinite. Правила образования -s форм см. здесь.):
Who is reading this book? Кто читает эту книгу?
Who goes to school?

Альтернативные вопросы

Альтернативный вопрос задается тогда, когда предлагается сделать выбор, отдать чему-либо предпочтение.

Альтернативный вопрос может начинаться со вспомогательного или модального глагола (как общий вопрос) или с вопросительного слова (как специальный вопрос) и должен обязательно содержать союз or - или. Часть вопроса до союза or произносится с повышающейся интонацией, после союза or - с понижением голоса в конце предложения.

Например вопрос, представляющий собой два общих вопроса, соединенных союзом or:
Is he reading or is he writing?
Did he pass the exam or did he fail?

Вторая часть вопроса, как правило, имеет усеченную форму, в которой остается (называется) только та часть, которая обозначает выбор (альтернативу):
Is he reading or writing?

Разделительные вопросы

Основными функциями разделительных вопросов являются: проверка предположения, запрос о согласии собеседника с говорящим, поиски подтверждения своей мысли, выражение сомнения.

Разделительный (или расчлененный) вопрос состоит из двух частей: повествовательной и вопросительной.

Первая часть - повествовательное утвердительное или отрицательное предложение с прямым порядком слов.

Вторая часть, присоединяемая через запятую, представляет собой краткий общий вопрос, состоящий из местоимения, заменяющего подлежащее, и вспомогательного или модального глагола. Повторяется тот вспомогательный или модальный глагол, который входит в состав сказуемого первой части. А в Present и Past Indefinite, где нет вспомогательного глагола, употребляются соответствующие формы do/ does/ did.

В второй части употребляется обратный порядок слов, и она может переводится на русский язык: не правда ли?, не так ли?, верно ведь?

1. Если первая часть вопроса утвердительная, то глагол во второй части стоит в отрицательной форме, например:
You speak French, don’t you? You are looking for something, aren’t you? Pete works at a plant, doesn’t he?

2. Если первая часть отрицательная, то во второй части употребляется утвердительная форма, например:
It is not very warm today, is it? John doesn’t live in London, does he?

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Write questions and answers for the following statements, as in the example.

1 Paul was tired when he got home.
…Was Paul tired when he got home? Yes, he was…
2 They live in London.
3 She can't play the piano.
4 The film starts at nine o'clock.
5 You had an English lesson last night.
6 She has got blue eyes.
7 We didn't want to go to the beach.
8 He should follow the doctor's advice.

2. Write the short form of the following negative questions

1 Can they not decide where to go on holiday?

...Can't they decide where to go on holiday?...

2 Did Claire not invite you to her party?

3 Do you not enjoy watching horror films?

4 Have you not finished your homework yet?

5 Can she not go to town on her own?

6 Does he not know where we live?

7 Has Sue not done the shopping for you?

8 Did he not give you any details?

3. Fill in the gaps with the correct question word(s).

A: Now for the general knowledge part of the quiz.

1) ...*What*... is the capital of Egypt?

B: Cairo.

A: That's correct. 2) … can you see the Mona Lisa?

B: In the Louvre, in Paris.

A: Well done, that's right. 3) … wrote 'Romeo and Juliet'?

B: Charles Dickens.

A: No, that's incorrect. It was Shakespeare. 4) … are the Olympic Games held?

B: Every four years.

A: Correct. 5) … did the Second World War begin?

B: I think it was in 1939.

A: Yes, you're right. And the final question in this round is: 6) … players are there in a hockey team?

B: Eleven.

A: Correct. Well, at the end of that round, Contestant 2 has the most points, so he goes through to the final round to play for our star prize.

4. Fill in who, whose, what, which, where, when, how long, how often, what time, why, how much or how many.

is your jacket?' 'It's the red one.'

1. '...*Which*... is your jacket?' 'It's the red one.'

2. '…is your birthday?' 'It's next week.'

3. '… is Mary?' 'She's in her bedroom.'

4. '… have you been waiting?' Only five minutes.'

5. '… do you go shopping?' Once a week.'

6. '… are you doing at the moment?' I'm watching TV.'

7. ' … are you writing to?' 'Uncle Tom.'

8. '…do you start work?' At nine o'clock in the morning.'

9. '… pieces of toast do you want?' Two, please.'

10. '… isn't she at work today?' Because she's ill.'

11. '… did you spend last month?' About £500.'

12. ' … party are you going tonight?' 'Alison's'

5. Fill in the gaps with what, which or how.

1 A: ...*What*... do you want to do when you leave school?
B: I'm not really sure. I'd like to be a vet.

2 A: … bag do you prefer - the black one or the brown one?
B: I like the black one best.

3 A: … old are you?
B: It was my birthday last week. Now I'm fifteen.

4 A: … did you get my telephone number?
B: I looked in the staff address book.

5 A: … shall we do on Saturday?
B: Let's just stay at home and watch a video.

6 A: … house did you prefer — the one we saw first or second?
B: I didn't like either. We'll have to keep looking.
7 A: … many pairs of shoes did you buy last year?
B: Only two. One in the summer and one in the winter.
8 A: … is your favourite food?
B: Roast chicken.

6. Write questions to which the words in bold are the answers.

1 **The tiger** is the largest member of the cat family.
…Which is the largest member of the cat family?...
2 A mature male tiger weighs **between 160 and 230 kg**.
3 Tigers are usually **orange with black stripes**.
4 Tigers live **in Russia, China, India and South-East Asia.**
5 **The Javan tiger, the Bali tiger and the Caspian tiger** are extinct.
6 Tigers eat **a variety of smaller animals, including deer.**
7 Tigers can produce young **at any time of year.**
8 Tigers usually have **two or three** cubs at a time.
9 Tigers live **for an average of eleven years.**
10 Tigers are hunted **for sport or for their fur**.

7. Write questions to which the words in bold are the answers.

Claudette is **32 years old**. She lives **in Paris, France**, and has lived there **since she was 5 years old.** Claudette works as **a lawyer** for a successful law firm, and she travels to work **by car** every day. Claudette is married. Her husband's name is **Jean**. They have **two** dogs. She loves **to take the dogs for long walks** every evening **after work.** Claudette has several hobbies, such as **reading and playing the piano**, but her **favourite hobby is cooking**. Jean thinks this is good, too, **because he gets to eat the wonderful meals she makes.**

8. Write questions to which the words in bold are the answers.

1 **The Petersons** have bought a dog.
…Who has bought a dog?...
2 The Petersons have bought **a dog.**
…What have the Petersons bought?...
3 Rachel is writing **a letter**.
4 **Rachel** is writing a letter.
5 **Brian** likes this car.
6 Brian likes **this car**.
7 Dad broke **the window**.
8 **Dad** broke the window.
9 **Mother** will make a birthday cake.
10 Mother will make **a birthday cake**.
11 **Robin** is going to bake some biscuits.
12 Robin is going to bake **some biscuits**.

9. Write questions to which the words in bold are the answers.

1 Wendy doesn't agree with **her friend's decision**.
…What doesn't Wendy agree with?...
2 James is listening to **some old records**.
3 Sharon is waiting for **the bus**.
4 The boys were talking about **football**.
5 She has got a letter from **her pen-friend**.
6 Martin is thinking about **his holiday**.
7 This jacket belongs to **Stacey.**
8 Pauline was married to **Nigel.**

10. Complete the questions.

1 There are two books. The one on the table is Sue's.

a) 'Which …*book is Sue's*...?' 'The one on the table.'
b) 'Whose …*book is on the table*…?' 'Sue's.'
2 Steven wrote four letters.
a) 'Who … ?' 'Steven.'
b) 'How many … ?' 'Four.'
3 Teresa is going to wash the car.
a) 'Who … ?' Teresa.'
b) 'What … ?' 'The car.'
4 Kate visited John in hospital yesterday.
a) 'Who … ?' 'Kate.'
b) 'Who … ?' 'John.'
5 David has taken Frank's new CD.
a) 'Whose …?' 'Frank's.'
b) 'Who …?' 'David.'
6 Alice is going to the cinema tonight.
a) 'Who …?' 'Alice.'
b) 'Where …?'The cinema.'

Безличные предложения

Поскольку в английском языке подлежащее является обязательным элементом предложения, в безличных предложениях употребляется формальное подлежащее, выраженное местоимением it. Оно не имеет лексического значения и на русский язык не переводится.

Безличные предложения используются для выражения:

1. Явлений природы, состояния погоды: It is/(was) winter. (Была) Зима. It often rains in autumn. Осенью часто идет дождь. It was getting dark. Темнело. It is cold. Холодно. It snows. Идет снег.

2. Времени, расстояния, температуры: It is early morning. Ранее утро. It is five o'clock. Пять часов. It is two miles to the lake. До озера две мили. It is late. Поздно.

3. Оценки ситуации в предложениях с составным именным (иногда глагольным) сказуемым, за которым следует подлежащее предложения, выраженное инфинитивом, герундием или придаточным предложением: It was easy to do this. Было легко сделать это.
It was clear that he would not come. Было ясно, что он не придет.

4. С некоторыми глаголами в страдательном залоге в оборотах, соответствующих русским неопределенно-личным оборотам: It is said he will come. Говорят, он придет.

Местоимение. The Pronoun.
Классификации местоимений.

1	**personal**	личные
2	**possessive**	притяжательные
3	**demonstrative**	указательные
4	**indefinite and negative**	неопределенные и отрицательные
5	**quantifiers**	количественные
6	**reflexive**	возвратные
7	**reciprocal**	взаимные
8	**relative**	относительные
9	**defining**	определительные
10	**interrogative**	вопросительные

I. Личные (personal) местоимения

Общий падеж		**Объектный падеж**	
I	я	**me**	мне, меня
he	он	**him**	его, ему

she	она	**her**	ей, о ней
it	оно, это	**it**	ей, ему, этому
we	мы	**us**	нам, нас
they	они	**them**	им, их
you	ты, вы	**you**	тебе, вам

Внимание! He (он) и **she (она)** в английском языке можно говорить только про людей. Все остальные английские существительные (предметы, животные, явления природы, чувства и т. д.) - обозначаются – it (оно, это).

he	**she**	**it**
a boy – мальчик **a man –** мужчина **brother –** брат **father –** отец **Nick –** Николай **Mr Grey –** мистер Грей	**a girl –** девочка **a woman –** женщина **sister – с**естра **motherч–** мама **Kate –** Катя **Mrs Grey –** миссис Грей	**a cat –** кот **a wall –** стена **rain –** дождь **love –** любовь **a hand –** рука **an apple -** яблоко

Англичане говорят <u>It's me</u>, а не It's I (это я).

II. Притяжательные (possessive) местоимения

Притяжательные местоимения выражают принадлежность и имеют в английском языке **две формы - основную** (после этой формы обязательно требуется существительное).
Whose pen is it? - *Чья это ручка?* - **It's my pen**. - *Это моя ручка*.
И **абсолютную** (существует самостоятельно, без существительного) - **It's mine.** - *Это моя.*

Личное местоимение	**Основная форма**	**Абсолютная форма**
I – я **he –** он **she –** она **it – оно,** это **we –** мы **you –** ты, вы **they -** они	**my (toy) -** моя (игрушка) **his (toy) -** его (игрушка) **her (toy) -** ее (игрушка) **its (toy) -** его (не о человеке) **our (toy) -** наша (игрушка) **your (toy) -** ваша, твоя (игрушка) **their (toy) -** их (игрушка)	**his -** его **hers -** ее **its -** его (этого) **ours -** наша **yours -** ваша, твоя **theirs -** их

III. Указательные (demonstrative) местоимения

this (это, эта, этот) **– these** (эти) **that** (то, та, тот) **- those** (те)

IV. Неопределенные (indefinite) и отрицательные (negative) местоимения

Местоимения some, any, every, и их производные

• Если у вас есть, например, яблоки и вы знаете, сколько их, вы говорите:
I have/l have got three apples. *У меня есть 3 яблока,*
• Если вы не знаете точное количество, то используйте неопределенное местоимение **some: I have/1 have got apples.** *У меня есть несколько яблок (некоторое количество).*

Производные от неопределенных местоимений

Слово **"think"** обозначает **"вещь"** (не обязательно материальная).
Слово **"body"** обозначает **"тело".** Эти слова являются основой для целого ряда словообразований.

Thing используется для неодушевленных (что-то):

some **something –** *что-то, что-нибудь*

any	**anything -** *что-то, что-нибудь*
thing	
no	**nothing -** *ничего, ничто*
every	**everything -** *все*
Body/one - для одушевленных (кто-то):	
some	**somebody/someone –** *кто-то, кто-нибудь*
any	**anybody/anyone -** *кто-то, кто-нибудь*
body/one	
no	**nobody / no one -** *никого, никто*
every	**everybody /everyone –** *все, каждый*

Местоимение **some** и основа **body** должны произноситься и писаться слитно, в противном случае вместо **somebody** – *кто-то*, получится **some body** - *какое-то тело*, **Something/somebody/someone** - в утвердительных предложениях, **anything/anybody/anyone** - в отрицательных и вопросительных предложениях**, nothing/nobody/no one** – в отрицательных. **Anything/anybody/anyone** - также используются в утвердительных предложениях, но в значении *что угодно/кто угодно*

somewhere - *где-нибудь, куда-нибудь*	**anywhere -** *где угодно*
nowhere - *нигде*	**everywhere -** *везде*

V. Количественные (quantifiers) местоимения

Many и much - оба слова обозначают **" много"**, С **исчисляемыми** существительными (теми, которые можно посчитать, можно образовать множественное число) используется слово **many**, а с **неисчисляемыми** - слово **much**.

many girls - *много девочек*	**much snow -** *много снега*
many boys - *много мальчиков*	**much money -** *много денег*
many books - *много книжек*	**much time -** *много времени*

How many? } **сколько?** **How many girls? -** *Сколько девочек?*
How much? } **сколько?** **How much sugar? -** *Сколько сахара?*
How much sugar? - *Сколько сахара?*

a lot of... - много - используется и с исчисляемыми, girls – много девочек
и с неисчисляемыми существительными **a lot of**
a lot без (of) используется и без существительного. sugar - много сахара
Сравните: He writes **a lot** of funny stories**.** *Он пишет много забавных рассказов.*
He writes **a lot.** *Он много пишет.*

В утвердительных предложениях используйте **a lot of.**
В отрицательных и в вопросительных **many/much,**
Сравните:
(+) My grandmother often cooks **a lot of** tasty things. *Моя бабушка часто готовит много вкусного*.
(-) But we don't eat **much.** *Но мы не едим много*. (?) Do you eat much? *Вы много едите?*
Иногда слова **much** и **a lot** являются синонимами слова **"часто":**
Do you ski **much**? *Вы много (часто) катаетесь на лыжах?* No, not much (= not often).Нет, не часто.

Few, little, a few, a little
С неисчисляемыми существительными используйте слово little (мало), а с исчисляемыми - few (мало).

few books - мало книг	**little time -** мало времени
few girls - мало девочек	**little money -** мало денег
few boys - мало мальчиков	**little snow -** мало снега
little } **мало (т.е. надо еще)**	**a little** } **немного (т.е. пока хватает)**

few	a few

VI. Возвратные (reflexive) местоимения

Возвратные местоимения образуются от личных местоимений в объектном падеже и притяжательных местоимений прибавлением **- self** в единственном числе и **- selves** во множественном числе. Возвратные местоимения используются для того, чтобы показать, что объект, названный подлежащим предложения сам совершает действие.

Личное местоимение	Возвратное местоимение	Пример	Перевод
I	myself	I did it myself.	Я сделал это сам
he	himself	He did it himself.	Он сделал это сам.
she	herself	She did it herself.	Она сделала это сама
you	yourself	You did it yourself.	Вы сделали это сами.
they	themselves	They did it themselves.	Они сделали это сами.
we	ourselves	We did it ourselves.	Мы сделали это сами.

VII. Взаимные (reciprocal) местоимения

Each other - друг друга (относится к двум лицам или предметам).
One another - друг друга (относится к большему количеству лиц или предметов).
They spoke to <u>each other</u> rather friendly. *Они разговаривали друг с другом довольно дружелюбно.*
They always help <u>one another</u>. *Они всегда помогают друг другу.*

VIII. Относительные (relative) местоимения

Who (whom), whose, which, that

who	**Именительный падеж <u>who</u> (подлежащее)** **The girl <u>who</u> is playing the piano is my sister.** *Девочка, которая играет на пианино, - моя сестра.*
	Объектный падеж <u>whom</u> (дополнение) **The man <u>whom</u> I love the best is your brother.** *Человек, которого я люблю больше всех, - твой брат.*
which	**Для неодушевленных предметов и животных** **The flowers <u>which</u> you brought me were pretty nice.** *Цветы, которые ты мне принес, очень милые.*
whose	**Для одушевленных существительных** **This is the man <u>whose</u> book we read yesterday.** *Это человек, книгу которого мы читали вчера.*
	Для неодушевленных существительных **We saw the tree <u>whose</u> leaves were absolutely yellow.** *Мы увидели дерево, листья которого были абсолютно желтыми.*
that	**Для одушевленных существительных** **This is the man <u>that</u> we saw yesterday.** *Это мужчина, которого мы видели вчера.*
	Для неодушевленных существительных **This is the film <u>that</u> we saw yesterday.** *Это фильм, который мы видели вчера.*

IX. Определительные (defining) местоимения

all

Употребление	Примеры	Перевод
определяет неисчисляемые существительные	He spent **all his** time fishing on the lake**.**	Он провел все свое время, ловя рыбу на озере.
определяет исчисляемые существительные	**All the** boys like football. **(the после all!)**	Все мальчишки любят футбол.
all = everything	I know **all/everything.**	Я знаю всё.
all = everybody	**All** were hungry. **Everybody** was hungry.	Все были голодны. Все были голодны.
we all = ail of us you all = all of you they all = ail of them	We **all** love you very much = **All** of us love you very much.	Мы все тебя очень любим

both

Употребление	Примеры	Перевод
определяет существительные	**Both (the/my) friends like football.**	Оба моих друга любят футбол
допускается использование артикля вместо указательных местоимений после both	**Both these/the men are Russian.**	Оба (эти) мужчины - русские.
употребляется вместо существительного	**He gave me two apples. Both were sweet.**	Он дал мне два яблока. Оба были сладкими.
they both = both of them you both = both of you we both = both of us	**They both (both of them) came to visit us.**	Они оба пришли навестить нас.
в устойчивой конструкции **both...and.**	**Both mother father were at home**	И мама, и папа были дома.
в отрицательных предложениях **вместо both** используется **neither**	**Both of them know English. Neither of them know English.**	Они оба знают английский. Ни один из них не знает английского.

either/neither

	Употребление	Примеры	Перевод
either	любой из двух (артикль не ставится)	**I’ve got 2 cakes. Take either cake.**	У меня 2 пирожных. Возьми любое.
	каждый, оба, и тот, и другой	**There are windows on either side of the house.**	С обеих сторон дома есть окна.
	заменяет существительное (глагол в ед. числе)	**Either of dogs is always hungry.**	Любая из собак вечно голодная.
neither	отрицательное местоимение-определение (ни тот, ни другой)	**Neither of examples is correct.**	Ни один из примеров не верен.
	в констр. neither.. .nor (ни.. .ни)	**I like neither tea, nor coffee.**	Я не люблю ни чай, ни кофе.

other, another, the other, the others (другой, другие)

	Употребление	Примеры	Перевод
the other	другой (второй), другой из двух	**You’ve got 2 balls: one and the other.**	У тебя 2 мяча: один и другой.
another	другой из многих, еще один	**Take another ball.**	Возьми другой мяч.

			(Любой, но не этот.)
other	другие (любые), не последние	**Take other 2 balls.**	Возьми другие 2 мяча. (Из многих.)
the others	другие (определенные)	**There are 4 balls: 2 balls are red and the others are blue.**	Есть 4 мяча: 2 красных, а другие 2 - синие.

X. Вопросительные (interrogative) местоимения

what	что	**What's this?**	Что это?
which	который	**Which of them?**	Который из них?
who	кто, кого	**Who was that?**	Кто это был?
whom	кого	**Whom did you meet?**	Кого ты встретил?
whose	чей	**Whose book is it?**	Чья это книга?

Имя существительное. The Noun

Категории	Существительное в русском языке	Существительное в английском языке
Число	**Изменяется**	**Изменяется**
Падеж	**Изменяется**	**Не изменяется**

Выполните упражнения на закрепление материала:

. Fill in the gaps with the correct subject or object pronoun.

1 A: Do your brothers play football?
B: Yes, ...*they*... play … all the time … think …'s a brilliant game.
2 A: Does Susan eat chocolate?
B: Yes … eats … all the time … says …'s her favourite food.
3 A: Do your parents know Mr. Jones?
B: Yes, … know … very well … lives next door to … .
4 A: Does Claire like David?
B: No, … doesn't like … very much. … says …'s too noisy.
5 A: Do you listen to rock music?
B: Yes, … listen to … all the time. … think …'s fantastic.
6 A: Does Tony enjoy fishing?
B: Oh, yes … enjoys … very much. .... says … relaxes him.

2. Fill in the gaps with there or it.

1 By the time I got home, ...*it*… was nearly ten o'clock.
2 'Is … your birthday today?" No, … was last week.'
3 Come here, Simon … is someone here to see you. I think … is your friend, Rod.
4 … wasn't warm enough to go to the beach, so we went to the cinema.
5 … wasn't very much money left after I had paid for the shopping.

3. Fill in the gaps with one or it.

1 A: I need a loaf of bread.
B: I'll buy ...*one*... this afternoon.
2 A: Is the phone ringing?
B: I can't hear … .
3 A: 'Titanic' is an amazing film.
B: I know. I've seen … twice.
4 A: When was the last time you read a book?
B: I haven't read … for months.

5 A: Have you got a car?
B: No. I can't afford … .
6 A: Do you like the new Rolling Stones CD?
B: I haven't heard … yet.
7 A: I need a dress for the party.
B: I'll lend you … .

4. Fill in the correct possessive adjective or pronoun.

1 A: Have you met ...*your*... new neighbours yet?
B: No. I've seen … children in the garden, though.
2 A: You took … coat home last night.
B: I know, I'm sorry. I thought it was … because they're both black.
3 A: What's wrong with Rosie?
B: Oh, she's been having problems with … back recently.
4 A: James is doing well at school.
B: I know … teacher says he's very advanced for his age.
5 A: Is this bag … ?
B: Oh, yes, thank you. I nearly forgot it.
6 A: Julie and Frank are so lucky … house is beautiful.
B: Yes, and it's so much bigger than … I envy them.
7 A: I like … shirt. It's like Sandra's.
B: Actually, it is … I borrowed it from her yesterday.
8 A: Why did you lend Tom … car?
B: Because … is being repaired at the moment.

5. Fill in its or it's.

1 The car is nice to drive, but I don't like ...its... colour.
2 This town is wonderful … got lots of shops!
3 I'm staying at home today because … cold outside.
4 Let's go in here … my favourite restaurant.
5 A bird has built … nest in our garden.
6 The company I work for has changed … name.

6. Fill in a possessive adjective or the.

1 A dog bit him on ...*the*... leg.
2 I banged … head on the cupboard door.
3 Karen put … arm around Jane's shoulder.
4 Don't put … feet on the tablel
5 You shouldn't have punched Tom in … stomach.
6 Paul patted Lisa on … shoulder.

7. Fill in the gaps with of where necessary, and my, your, etc. own.

1 John doesn't live with his parents any more. He's got a flat ...*of his own*...
2 She doesn't travel by bus any more because she's got … car.
3 I don't need to borrow your umbrella. I've got one … .
4 Haven't you got … pen? You're always borrowing mine.
5 My job includes doing research in … time.
6 Sam is tired of using his friend's computer, so he is going to buy one… .
7 The couple moved into … house after they got married.
8 Don't let the dog sleep on your bed. It's got a bed … .

8. Connect the nouns using -'s, -' or ...of…

1 car/Helen ...*Helen's car*…
2 the manager/the restaurant
3 shoes/women
4 the results/the test
5 bicycles/my daughters

6 secretary/the assistant manager
7 the corner/the room
8 house/their parents
9 the back/the classroom
10 shoes/William
11 walk/an hour
12 partner/Jim
13 Rome/the streets
14 UN/headquarters

9. Rewrite the sentences using the correct possessive form.

1 Nobody went to **the meeting last week**.

...Nobody went to last week's meeting....

2 The **drive** to the airport takes **two hours**.
3 They will get their exam results **six weeks from now**.
4 I look after **James - Karen — children**.
5 I received the letter in **the post - yesterday**.
6 It's autumn. **The tree - the leaves** are falling off.
7 Graham never listens to **his doctor - the advice.**
8 Are you going to **Jane - Paula - the party**?
9 He has never done a hard **day of work** in his life.
10 At the moment I'm staying with **a friend - my**.
11 I think I'll order **the special of today**.
12 The man knocked on **the house - the door**.
13 The ticket inspector looked at **the people – the tickets.**
14 **Mrs Jones - Miss Smith - cars** are being serviced.
15 **The sales target this month** is two million pounds.

10. Fill in the gaps with the correct reflexive pronoun.

1 The girl has hurt … *herself...* .
2 He put the fire out by …
3 She is looking at … in the mirror.
4 They are serving …
5 He cooked the food by …
6 They bought this house for …
7 They are enjoying …
8 He introduced …

The Plural Form of Nouns

Образование множественного числа у английских существительных

Способ образования	Примеры	Перевод
после глухих согласных	**a book - books** **a cup - cups**	**книга - книги** **чашка - чашки**
после звонких согласных и гласных -	a name - names a girl - girls	**имя - имена** **девочка - девочки**
после шипящих, свистящих звуков -ch, -sh, -x, -s, -z: -es	a palace - palaces a bush - bushes a box - boxes a church - churches	дворец - дворцы куст - кусты коробка - коробки церковь - церкви
слово заканчивается на -y: 1) гласная +y	**a toy - toys** **a boy - boys**	игрушка - игрушки мальчик - мальчики

2) согласная + y	**a family - families** **a story - stories**	**семья - семьи** **история - истории**
слово заканчивается на *-file*	**a leaf - leaves** **a shelf - shelves**	лист - листья полка - полки

Особые случаи образования множественного числа

Ед. число	**Мн. число**	**Перевод**
man	men	мужчина - мужчины
woman	women	женщина - женщины
foot	feet	нога (стопа) - ноги (стопы)
child	children	ребенок - дети
goose	geese	гусь - гуси
mouse	mice	мышь - мыши
ox	oxen	**бык - быки**
tooth	teeth	**зуб - зубы**

Слова - заместители существительных **Substitutions: one/ones**

При повторном использовании одного и того же существительного в одном предложении, вместо него следует использовать one (в единственном числе) и ones (во множественном числе):
This table is bigger that that one - Этот стол больше, чем тот (стол).
These table are bigger than those ones. - Эти столы больше, чем те (столы).

Со словами one/ones **может быть использован артикль, если перед ними стоит прилагательное.**	
What apple do you want? **Какое ты хочешь яблоко?** **The red one. Красное.**	**What apples do you want?** **Какие яблоки ты хочешь?** **The red ones. Красные.**

Английские существительные не имеют падежных окончаний традиционно выделяют два падежа -общий и притяжательный.

Общий падеж

И. п. Эта девочка хорошо говорит по-английски.	This girl speaks English well.
Р. п. Это собака той девочки.	It’s a dog of that girl.
Д. п. Я дал яблоко той девочке. .	I gave an apple to that girl.
В. п. Я вижу маленькую девочку. .	1 can see a little girl.
Т. п. Я люблю гулять с этой девочкой.	1 like to play with this girl.
П. п. Я часто думаю об этой девочке.	1 often think about this girl.

Притяжательный падеж. The Possessive Case
Образование притяжательного падежа

	Образование	**Примеры**	**Перевод**
существительные в единственном числе	**’s**	**bird’s house** **child’s ball**	домик птички мячик ребенка
существительные во множественном числе (группа исключений}	**’s**	**children’s bail** **women’s rights**	мячик детей права женщин
существительное во множественном числе	**’**	**girls’ toy** **birds’ house**	игрушка девочек домик птичек

Формула притяжательного падежа обычно имеют лишь одушевленные существительные, обозначающие живое существо, которому что-то принадлежит,

my mother’s book - мамина книга,

this girl’s bail - мячик девочки,

the bird’s house - домик птички

Для того, чтобы показать принадлежность объекта неодушевленному предмету, используется предлог of:

the handle of the door (ручка (от) двери), но чаще образуется составное существительное door-handle,

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Fill in the gaps with an appropriate noun + of to indicate quantity.

1 a ... carton/glass/jug of ... orange juice
2 a … cheese
3 a … bread
4 a … coffee
5 a … water
6 a … wine
7 a … chocolate
8 a … crisps
9 a … honey
10 a … meat
11 a … spaghetti
12 a … flour

2. Fill the gaps with a, an, or some where necessary.

1 a) We had ...some... delicious food last night,
b) We had ...a... delicious meal last night.
2 a) There is … beautiful furniture in that shop,
b) There is … beautiful table in that shop.
3 a) I'm thirsty. I need … drink.
b) I'm thirsty. I need … water.
4 a) She's just bought … expensive clothes.
b) She's just bought … expensive dress.
5 a) They booked … room in advance.
b) They booked … accommodation in advance
6 a) The band played … lovely song.
b) The band played … lovely music.
7 a) We had … heatwave last week.
b) We had … hot weather last week.
8 a) I can't do this job alone. I need … assistant
b) I can't do this job alone. I need … help.
9 a) He has got … heavy luggage to carry.
b) He has got … heavy suitcase to carry.
10 a) I need … cutlery to eat this food with.
b) I need … knife and fork to eat this food with.
11 a) She has got … important job to do.
b) She has got … important work to do.
12 a) He found … coin on the ground.
b) He found … money on the ground.

3. Complete the sentences using the noun in brackets in the singular or plural form and a/an where necessary.

1. He gave me a box' of my favourite ...chocolates.... (chocolate)
2. His favourite food is … . (chocolate)
3. She bought … on her way to work. (paper)
4. He placed all the important … in his briefcase. (paper)
5. I need some … to write this message on. (paper)
6. Hurry up! We don't have much …. (time)
7. She has visited us several … this month. (time)
8. He has no … but he is keen to learn. (experience)
9. She had a lot of exciting … during her travels. (experience)
10. We went far a walk in the … after lunch. (wood)
11. His desk is made of ……. . (wood)
12. Jane is in her… reading a book. (room)
13. We have got plenty of … for a party in here. (room)
14. I am going to have my … cut tomorrow. (hair)
15. There was …in my soup. (hair)
16. I'm thirsty. I need … of water. (glass)
17. Susan only wears her … when she reads. (glass)
18. This ornament is made of coloured …. . (glass)
19. Helen bought … in the sale at the electrical store. (iron)
20. The old gate was made of … .(iron)

4. Cross out the expressions which cannot be used with the nouns, as in the example.

1 There are **several, many, <u>much,</u> plenty of, <u>too little</u>** things you can do to help.
2 He has met **a couple of, a few, very little, plenty of, too much** interesting people.
3 She earns **few, hardly any, plenty of, several, a great deal** of money.
4 We have got **no, many, lots of, a great deal of, a few** work to do.
5 Don't worry, there's **a little, plenty of, a couple of, many, a lot of** time.
6 **Both, Several, A large quantity of, Plenty of, Too much** students applied for the course.
7 He's got **no, hardly any, a little, some, a small amount of** qualifications.
8 She's got **hardly any, several, a little, a few, a lot of** experience in dealing with customers.
9 There is **too much, a lot of, hardly any, few, several** salt in this soup.
10 There is **a little, many, too much, a great number of, some** traffic on the roads today.

5. Underline the correct word.

1 A: I have a Physics exam tomorrow.
B: Oh dear. Physics **<u>is</u>/are** a very difficult subject.
2 A: My office is three miles from my house.
B: Three miles **is/are** a long way to walk to work.
3 A: My little brother has got measles.
B: Oh dear. Measles **is/are** quite a serious illness.
4 A: Jane looked nice today, didn't she?
B: Yes. Her clothes **were/was** very smart.
5 A: I've got two pounds. I'm going to buy a CD.
B: Two pounds **is/are** not enough to buy a CD.
6 A: The classroom was empty when I walked past.
B: Yes. The class **was/were** all on a school outing.
7 A: Have you just cleaned the stairs?
B: Yes, so be careful. They **is/are** very slippery.
8 A: Did you ask John to fix your car?
B: Yes. His advice **was/were** that I take it to a garage.

9 A: Did you enjoy your holiday?
B: Yes, thank you. The weather **was/were** wonderful.
10 A: These trousers **is/are** very old.
B: You should buy a new pair.
11 A: How **is/are** the company doing lately?
B: Great. We opened up two more branches.
12 A:' I am going to travel for two years when I finish school.
B: Two years **is/are** a long time to be away from home.

6. Finish the sentences, as in the example.

1 You need a lot of experience to do this job. A lot of experience ...is needed to do this job...
2 They gave us some interesting information. The information …
3 She likes Maths more than any other subject. Maths …
4 We had mild weather this winter. The weather …
5 We called the police immediately. The police …
6 I told them some exciting news. The news …
7 He was irritated because of the bad traffic. He was irritated because the …
8 I stayed in very luxurious accommodation. The accommodation …
9 The driver took the luggage out of the car. The luggage …
10 She gave me very sensible advice. The advice she gave me …
11 These shorts are too big for me. This pair of shorts …
12 The hotel is in magnificent surroundings. The hotel surroundings …
13 She's got long blonde hair. Her hair …

Артикль. The Article

1. Неопределенный a/an (используется перед исчисляемыми существительными в единственном числе)

a cat –кот a dog –собака a boy – мальчик a girl -девочка
a teacher - учитель

2. Определенный the (может использоваться с любыми существительными)

the cat -кот the houses –дома the water -вода the weather –погода
the flowers - цветы

Если слово начинается с гласной буквы, к артиклю "a" добавляется буква "n", для того, чтобы две гласные не сливались: an apple (яблоко), an orange (апельсин), an author (автор) и т, д. Слово “an hour” (час) начинается с согласной буквы “h”, но в слове эта буква не читается, т.е. слово начинается с гласного звука, поэтому к артиклю “a” также добавляется n = an

Упоминая объект впервые, перед ним ставят неопределенный артикль a/an при вторичном с упоминании того же самого объекта, перед ним ставят определенный артикль the

I see a cat, Я вижу кота (одного). The cat is black. (этот) Кот – черный.

This is a kitten. Это - котенок. (Один из многих) The kitten is hungry. (этот) Котенок - голодный.

I have a book- У меня есть книга. The book is interesting. (эта) Книга - интересная.

Неопределенный артикль a/an опускается перед исчисляемыми существительными и существительными во множественном числе.

a pen - pens (ручка - ручки) a dog - dogs (собака - собаки) a book - books (книга -книги)
- water (вода) - snow (снег) - meat (мясо)

Использование неопределенного артикля a

один из множества (любой)	This is a cat.
первое упоминание в тексте	I see a bird.
при упоминании профессии	My brother is a pilot.
в восклицательных предложениях	What a good girl! What a surprise!

	Such a fine room!
вместо слова один	She is coming for a weak.
в определенных конструкциях there is a... I have a… he has a... I see a... this is a... that is a… It is a... Iama… he/she is a…	There is a book here. I have got a nice coat. He has a kind smile. I see a wolf. This is a dog. That is a doctor. It is a red pen. I am a good swimmer. He/she is a tourist
в ряде устойчивых словосочетаний at a quarter.., in a loud, (a low, an angry voice) to have a good time a lot of to go for a walk such a... after a while in a day (a month, a week, a year)	Come at a quarter to 8. Don't speak to him in an angry voice. We had a good time in the country. She has got a lot of presents. Let's go for a walk. He is such a clever boy. You'll see them after a while. We are living in a day.

Использование определенного артикля the

если речь идет о конкретном лице или предмете	The pen is on the table.
при повторном упоминании того же самого объекта	I see a cat. The cat is black.
если слово обозначает нечто, существующее в единственном лице, с частями света	the sun, the moon, the Earth
со словами: only (только), main (главный), central (центральный), left (левый), right (правый), wrong (неправильный), next (следующий), last (последний), final (заключительный)	The only man I love the main road to the left, to the right It was the right answer. the final test
с порядковыми числительными	the first, the tenth
с прилагательными в превосходной степени	the kindest, the most interesting the best
с музыкальными инструментами и танцами	to play the piano, to dance the tango
с обобщающими существительными (класс людей» животных, термины, жанры)	The Britons keep their traditions.
с названиями музеев, кинотеатров, кораблей, галерей, газет, журналов	the Hermitage the Tretyakov Gallery the Avrora the Seasame Street
с названиями океанов, рек, морей, каналов, пустынь, групп, островов, штатов, горных массивов, наименований с of	the Atlantic ocean the Neva river the Black sea Changing of the Guard

Использование определенного артикля в ряде устойчивых словосочетаний

in the middle, in the corner in the morning, In the evening, in the afternoon what’s the use? to the cinema, to the theatre, to the shop, to the market	The table is in the middle of the room. I never drink coffee in the evening. What's the use of going there so late? Do you like going to the theatre? He works at the shop.

at the cinema, at the theatre, at the shop, at the market the fact is (was) that... where is the…? in the country, to the country	The fact is that I have no money at all. Where is the doctor? We always spend summer in the country.

Сколько бы прилагательных-определений ни стояло перед существительным, все эти определения ставятся между артиклем и существительным: A big, black, fat cat большой, черный, толстый кот.

Случаи, когда артикль не употребляется

если, перед существительным стоит притяжательное местоимение	a pen - my pen a dog - his dog the teacher - our teacher the apple - her apple
если перед существительным стоит указательное местоимение	the cats - those cats the books - these books a mouse - this mouse
если стоит другое существительное в притяжательном падеже	a car - father's car the horse - farmer's horse a bike - brother's bike the doll - sister's doll
если перед существительным стоит, количественное числительное	5 balls, 7 bananas, 2 cats
если перед существительным стоит отрицание “no”	She has no children. I see no birds.
перед именами	Mike, Kate, Jim, etc
с названиями дней недели	Sunday, Monday, etc.
с названиями месяцев	May, December, etc.
с названиями времен года	in spring, in winter
с названиями цветов	white, etc. I like green
с названиями спортивных игр	football, chess, etc.
с названиями блюд, напитков	tea, coffee, soup, etc,
с названиями праздников	Easter, Christmas, etc.
с названиями языков, если нет слова (язык). Если есть, нужен артикль the	English, etc. I learn English, the English language
с названиями стран	Russia, France, etc HO: the USA, the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, the Netheriands, the Ukraine, the Congo
с названиями городов	Moscow, Paris, etc.
с названиями улиц, площадей	Trafalgar Square
с названиями парков	St James’ Park, Hyde Park
с названиями мостов	Tower Bridge
с названиями одиночных гор	Kilimanjaro
с названиями озер	Loch Ness
с названиями континентов	Asia, Australia, etc.
с названиями одиночных островов	Cyprus
если перед существительными стоит вопросительное или отрицательное	what animals can swim? I know what thing you have lost!

местоимение	

ГЛАГОЛ (THE VERB)

Глаголом называется часть речи, обозначающая действие или состояние предмета или лица.

В английском языке признаком глагола в неопределенной форме (инфинитиве) является частица to.

По своей структуре глаголы делятся на:

1. Простые, состоящие только из одного корня:

to fire - стрелять; зажигать
to order - приказывать
to read - читать
to play - играть

2. Производные, состоящие из корня и префикса, из корня и суффикса или из корня, префикса и суффикса:

to unpack - распаковывать
to dismiss - увольнять, отпускать
to realize - представлять себе
to shorten - укорачивать (ся)
to encounter - встречать (ся), наталкивать (ся)
to regenerate - перерождаться, возрождаться

3. Сложные, состоящие из двух основ (чаще всего основы существительного или прилагательного и основы глагола):

to broadcast (broad + cast) - передавать по радио
to whitewash (white + wash) - белить

4. Составные, состоящие из глагольной основы и наречия или предлога:

to carry out - выполнять
to sit down - садиться

По значению глаголы делятся на смысловые и служебные.

1. Смысловые глаголы имеют самостоятельное значение, выражают действие или состояние: Lomonosov as a poet and scientist played a great role in the formation of the Russian literary language. Как поэт и ученый Ломоносов сыграл огромную роль в создании русского литературного языка.

2. Служебные глаголы не имеют самостоятельного значения и употребляются для образования сложных форм глагола или составного сказуемого. Они являются спрягаемым элементом сказуемого и в его формах выражается лицо, число и время. К ним относятся:

1. Глаголы-связки to be быть, to become становиться, to remain оставаться, to grow становиться, to get, to turn становиться, to look выглядеть, to keep сохраняться.

Every man is the maker of his own fortune. Каждый человек-творец своей судьбы.

2. Вспомогательные глаголы to be, to do, to have, to let, shall, will (should, would):

The kitchen was supplied with every convenience, and there was even a bath-room, a luxury the Gerhardts had never enjoyed before. На кухне имелись все удобства; была даже ванная комната- роскошь, какой Герхардты никогда до сих пор не обладали.

3. Модальные глаголы can, may, must, ought, need: He that would eat the fruit must climb the tree. Кто любит фрукты, должен влезть на дерево (чтобы сорвать). (Любишь кататься-люби и саночки возить.)

Все формы глагола в английском языке делятся на личные и неличные.

Личные формы глагола выражают время, лицо, число, наклонение. Они выполняют в предложении функцию сказуемого. К личным формам относятся все формы времен действительного и страдательного залога (изъявительного и сослагательного наклонения):

As you leave the Kremlin by Spassky Gate you come out on the Red Square. Если вы выходите из Кремля мимо Спасских Ворот, вы оказываетесь на Красной площади.

Неличные формы глагола не различаются по лицам и числам. Они не могут самостоятельно выполнять в предложении функцию сказуемого, но могут входить в его состав. К неличным формам относятся: инфинитив, причастие и герундий. Every step towards eliminating nuclear weapons is in the interests of every nation. Любой шаг в направлении уничтожения ядерного оружия служит интересам каждого государства.

Личные формы глагола в английском языке имеют три наклонения: изъявительное (the Indicative Mood), повелительное (the Imperative Mood) и сослагательное (the Subjunctive Mood).

Глаголы в изъявительном наклонении выражают реальное действие, передают факты: His son goes to school. Его сын учится в школе.
She has written an interesting article. Она написала интересную статью.
A new building of the theatre was built in this street. На этой улице построили новое здание театра.

Глаголы в повелительном наклонении выражают приказание, просьбу, совет, запрещение, команду:
"Don't buy them", warned our cautious driver. "Не покупайте их", - предупредил наш осторожный шофер.
Undertake not what you cannot perform but be careful to keep your promise. Не беритесь за то, что не сможете выполнить, но старайтесь сдержать обещание.

Глаголы в сослагательном наклонении выражают действие не реальное, а желательное или предполагаемое: If there were no bad people, there would be no good lawyers. Если бы не было плохих людей, не было бы хороших адвокатов.

Как личные, так и неличные формы глагола имеют **два залога**: действительный (the Active Voice) и страдательный (the Passive Voice).

Глаголы в действительном залоге выражают действие, которое производится подлежащим: I inform you that I have carried out the mission. Сообщаю, что я выполнил задание.

Глаголы в страдательном залоге выражают действие, которое испытывает на себе подлежащее: I was informed that the mission had been carried out. Мне сообщили, что задание было выполнено.

Формы глагола могут выражать отношение между действием и временем. В русском языке бывают глаголы **совершенного и несовершенного вида**. **Глаголы совершенного вида** обозначают действие, которое закончено, и есть его результат:
Он прочитал эту статью с интересом.

Глаголы несовершенного вида обозначают действие, указывая на его повторяемость, длительность, незаконченность: Вчера он читал эту статью с интересом. (Но он мог и не прочитать ее).

Вид глагола в русском языке выражается либо изменением его формы, либо с помощью суффиксов и приставок. Видовые значения глагола в английском языке выражаются сочетанием вспомогательного глагола с причастием настоящего или прошедшего времени смыслового глагола.

В английском языке четыре видо-временных группы глагола: неопределенные времена (Indefinite Tenses), продолженные времена (Continuous Tenses), совершенные времена (Perfect Tenses), и совершенные продолженные времена (Perfect Continuous Tenses). В каждой временной группе три времени: настоящее (Present), прошедшее (Past), будущее (Future).

Глагол “to be”

A: Are you from England?
B: No, we aren't. We're from China.

He's Tom and she's Helen. They are friends.

Утверждение		Отрицание		Вопрос
Полная форма	Краткая форма	Полная форма	Краткая форма	Am I?

I am	I'm	I am not	I'm not	Are you?
You are	You're	You are not	You aren't	Is he?
He is	He's	He is not	He isn't	Is she?
She is	She's	She is not	She isn't	Is it?
It is	It's	It is not	It isn't	Are we?
We are	We're	We are not	We aren't	Are you?
You are	You're	You are not	You aren't	Are they?
They are	They're	They are not	They aren't	

Краткими ответами называются ответы на вопросы, начинающиеся с глагольной формы is /are; в кратком ответе содержание вопроса не повторяется. Употребляется только Yes или No, далее личное местоимение в именительном падеже и глагольная форма is (isn't) / are (aren't). Например: Are you British? No, I'm not.
Yes, I am /we are. No, I'm not/we aren't.
Yes, he/she/it is. No, he/she/it isn't.
Yes, they are. No, they aren't.

WAS/WERE

Bob is eighty. He's old and weak.
Mary, his wife is seventy-nine. She's old too.
Fifty years ago they were young. Bob was strong. He wasn't weak. Mary was beautiful. She wasn't old.
В прошедшем простом времени (past simple) глагол "to be" с личными местоимениями в именительном падеже имеет следующие формы: was для I, he, she, it и –were для –we, you, they. В вопросахwas/were ставятся перед личным местоимением в именительном падеже (I, you, he и т.д.) или существительным. Например: She was ill yesterday. -> Was she ill yesterday? Отрицания образуются путем постановки not после was/were. Например: She was not ill yesterday. She wasn't ill yesterday.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
I was	I was not	I wasn’t	Was I?
You were	You were not	You weren’t	Were you?
He was	He was not	He wasn’t	Was he?
She was	She was not	She wasn’t	Was she?
It was	It was not	It wasn’t	Was it?
We were	We were not	We weren’t	Were we?
You were	You were not	You weren’t	Were you?
They were	They were not	They weren’t	Were they?

ОБОРОТ THERE IS/THERE ARE

There is a sofa in the room. There are two pictures on the wall. There isn't a TV in the room. What else is there in the room?

Мы употребляем конструкцию there is/there are, чтобы сказать, что кто-то или что-то существует или находится в определенном месте. Краткая форма there is – there’s. There are не имеет краткой формы. Например: There is (There's) a sofa in the room. There are four children in the garden.

Вопросительная форма: Is there? Are there? Например: Is there a restaurant in the town? Are there any apples in the basket?

Отрицательная форма: There isn’t …/There aren’t … Например: There is not / isn't a man in the room. There are not/aren't any cars in the street.

Краткие ответы строятся с помощью Yes, there is/are или No, there isn't / aren't. Содержание вопроса не повторяется.

Yes, there is. No, there isn't.
Yes, there are. No, there aren't.

Мы употребляем there is / there are, чтобы сказать, что что-то существует или находится в определенном месте, it is / they are - когда уже упоминали об этом. Например: There is a house in the picture.
It is a big house. (Но не: It's a house in the picture.)
There are three books on the desk.
They are history books. (Но не: They are three books on the desk.)

Конструкция There was/There were

This is a modern town today.
There are a lot of tall buildings and shops. There are cars and there isn't much peace and quiet.
This is the same town fifty years ago.
There weren't any tall buildings. There were some old houses. There weren't many cars and there wasn't much noise.

Конструкция There was/There were - это There is / There are в форме past simple. There was употребляется с существительными в единственном числе. Например: There was a post office in the street thirty years ago. There were употребляется с существительными во множественном числе. Например: There were a few houses in the street thirty years ago.

В вопросах was/were ставятся перед there. Например: Was there a post office in the street thirty years ago? Were there any houses in the street thirty years ago?

Отрицания строятся путем постановки not после was / were. Например: There was not / wasn't a post office in the street thirty years ago. There were not / weren't any houses in the street thirty years ago.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
There was	There was not	There wasn't	Was there?
There were	There were not	There weren't	Were there?

Краткие ответы строятся с помощью Yes или No и there was/there were. Содержание вопроса не повторяется.

Was there a book on the desk? Yes, there was. No, there wasn't.

Were there any people in the shop? Yes, there were. No, there weren't.

Глагол Have got

A bird has got a beak, a tail and wings.
Has she got long hair? No, she hasn't. She's got short hair.
What have they got? They've got roller blades. They haven't got skateboards.
She has got a headache.

Have (got) используется:

а) чтобы показать, что что-то принадлежит кому-то. Например: He's got a ball.

б) при описании людей, животных или предметов. Например: She's got blue eyes.

в) в следующих высказываниях: I’ve got a headache. I’ve got a temperature. I’ve got a cough, I’ve got a toothache, I’ve got a cold, I’ve got a problem.

Утверждение		Отрицание		Вопрос
Полная форма	Краткая форма	Полная форма	Краткая форма	Have I (got)?
I have (got)	I've (got)	I have not (got)	I haven't (got)	Have you (got)?
You have (got)	You've (got)	You have not (got)	You haven't (got)	Has he (got)?
He has (got)	He's (got)	He has not (got)	He hasn't (got)	Has she (got)?
She has (got)	She's (got)	She has not (got)	She hasn't (got)	Has it (got)?
It has (got)	It's (got)	It has not (got)	It hasn't (got)	Have we (got)?
We have (got)	We've (got)	We have not (got)	We haven't (got)	Have you (got)?

You have (got) They have (got)	You've (got) They've (got)	You have not (got) They have not (got)	You haven't (got) They haven't (got)	Have they (got)?

Had

Grandpa, did you have a TV when you were five?
No, I didn't. People didn't have TV's then. They had radios.

Have (had) в past simple имеет форму Had для всех лиц.

Вопросы строятся с помощью вспомогательного глагола did, личного местоимения в именительном падеже и глагола - have. Например: Did you have many toys when you were a child? Отрицания строятся с помощью did not и have. Например: I did not / didn't have many toys when I was a child.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
I had	I did not have	I didn't have	Did I have?
You had	You did not have	You didn't have	Did you have?
He had	He did not have	He didn't have	Did he have?
She had	She did not have	She didn't have	Did she have?
It had	It did not have	It didn't have	Did it have?
We had	We did not have	We didn't have	Did we have?
You had	You did not have	You didn't have	Did you have?
They had	They did not have	They didn't have	Did they have?

Имя прилагательное. The Adjective

Категории	**Прилагательное в русском языке**	**Прилагательное в английском языке**
Число	изменяется	не изменяется
Род	изменяется	не изменяется
Падеж	изменяется	не изменяется

Образование имен прилагательных

Имена прилагательные бывают: **простые и производные**

К **простым** именам прилагательным относятся прилагательные, не имеющие в своем составе **ни приставок, ни суффиксов: small** - *маленький***, long** - *длинный***, white** - *белый***.**

К **производным** именам прилагательным относятся прилагательные, имеющие в своем составе **суффиксы** или **приставки**, или одновременно и те, и другие.

Суффиксальное образование имен прилагательных

Суффикс	**Пример**	**Перевод**
- ful	use**ful** doubt**ful**	**полезный** **сомневающийся**
- less	help**less** use**less**	**беспомощный** **бесполезный**
- ous	fam**ous** danger**ous**	**известный** **опасный**
- al	form**al** centr**al**	**формальный** **центральный**
- able	eat**able** cap**able**	**съедобный** **способный**

Приставочный способ образования имен прилагательных

Приставка	Пример	Перевод
un -	**un**cooked **un**imaginable	**невареный** **невообразимый**
in -	**in**capable **in**human	**неспособный** **негуманный**
il -	**il**legal **il**liberal	**нелегальный** **необразованный**
im -	**im**possible **im**practical	**невозможный** **непрактичный**
dis -	**dis**honest **dis**agreeble	**бесчестный** **неприятный**
ir -	**ir**regular **ir**responsible	**неправильный** **безответственный**
Некоторые имена прилагательные являются составными и образуются из двух слов, составляющих одно понятие: **light-haired –** светловолосый, **snow-white –** белоснежный.		

Прилагательные, оканчивающиеся на – ed и на - ing

- ed	**- ing**
Описывают чувства и состояния	**Описывают предметы, вещи, занятия, вызывающие эти чувства**
interested – интересующийся, заинтересованный	**interesting -** интересный
bored - скучающий	**boring -** скучный
surprised - удивленный	**surprising -** удивительный

Степени сравнения прилагательных

Английские прилагательные не изменяются ни по числам, ни по родам, но у них есть **формы степеней сравнения.**

Имя прилагательное в английском языке имеет **три формы** степеней сравнения:

- положительная степень сравнения **(Positive Degree);**

- сравнительная степень сравнения **(Comparative Degree);**

- превосходная степень сравнения **(Superlative Degree).**

Основная форма прилагательного - положительная степень. Форма сравнительной и превосходной степеней обычно образуется от формы положительной степени одним из следующих способов:

1. -er. -est

Односложные прилагательные образуют **сравнительную степень** путем прибавления **к форме прилагательного в положительной степени** суффикса **- er.** Примерно, тоже самое мы делаем и в русском языке - добавляем “е” (большой - больше, холодный - холоднее).

Превосходная степень образуется путем прибавления суффикса **- est. Артикль the обязателен!!!**

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
cold - холодный	cold**er -** холоднее	the cold**est -** самый холодный
big - большой	bigg**er -** больше	the bigg**est -** самый большой
kind - добрый	kind**er -** добрее	the kind**est -** самый добрый

По этому же способу образуются степени сравнения двусложных прилагательных оканчивающихся на **-y, -er, -ow, -ble:**

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень

clever — умный **easy -** простой **able -** способный **busy -** занятой	clever**er - умнее** eas**ier - проще** abl**er - способнее** bus**ier - более занятой**	**the** clever**est - самый умный** **the** easi**est - самый простой** **the** abl**est - самый способный** **the** busi**est - самый занятой**

При образовании степеней сравнения посредством суффиксов **– er и – est** соблюдаются следующие **правила орфографии:**

Если прилагательное заканчивается на немое **“e” ,** то при прибавлении **– er и – est немое “e” опускается:**

larg**e – larg**er - **the** larg**est /** большой – больше – самый большой

brav**e – brav**er **– the** brav**est /** смелый – смелее – самый смелый

Если прилагательное заканчивается **на согласную с предшествующим кратким гласным звуком,** то в сравнительной и превосходной степени **конечная согласная буква удваивается:**

big – big**ger –** big**gest /** большой – больше – самый большой

hot – hot**ter –** hot**test /** горячий – горячее – самый горячий

thin – thinn**er –** thinn**est /** тонкий – тоньше – самый тонкий

Если прилагательное **заканчивается на “y” с предшествующей согласной,** то в сравнительной и превосходной степени **“y” переходит в “i”:**

busy – bus**ier – bus**iest / **занятой – более занятой – самый занятой**

easy – eas**ier –** eas**iest / простой – проще – самый простой**

2. more, the most

Большинство двусложных прилагательных и прилагательных, состоящих из трех и более слогов, образуют сравнительную степень при помощи слова **more**, а **превосходную** – при помощи слова **most**.

Эти слова ставятся перед именами прилагательными в положительной степени:

Положительная степень	**Сравнительная степень**	**Превосходная степень**
beautiful - красивый **interesting – интересный** **important - важный**	**more beautiful -** красивее **more interesting -** интереснее **more important -** важнее	**the most beautiful -** самый красивый **the most interesting -** самый интересный **the most important -** самый важный

Особые формы

Положительная степень	**Сравнительная степень**	**Превосходная степень**
good - хороший **bad -** плохой **little -** маленький **much/many -** много **far -** далекий/далеко **old -** старый	**better -** лучше **worse -** хуже **less -** меньше **more -** больше **farther/further -** дальше **older/elder -** старше	**the best -** самый лучший **the worst -** самый плохой **the least -** самый маленький, меньше всего **the most -** больше всего **the farthest/furthest -** самый дальний **the oldest/eldest -** самый старый

3. less. the least

Для выражения **меньшей** или **самой низкой степени** качества предмета по сравнению с другими предметами употребляются соответствующие слова **less** – менее и **the least** – наименее, которые ставятся перед прилагательными в форме положительной степени.

Положительная степень	**Сравнительная степень**	**Превосходная степень**
beautiful – красивый **interesting -** интересный	**less beautiful -** менее красивый	**the least beautiful –** самый некрасивый

important - важный	**less interesting –** менее интересный **less important -** менее важный	**the least interesting –** самый неинтересный **the least important –** самый неважный

Другие средства сравнения двух предметов или лиц

Конструкция	Комментарий	Примеры
As…as (такой же, так же)	**Для сравнения двух объектов одинакового качества**	He is **as** a strong **as** a lion Он такой же сильный, как лев. She is **as** clever **as** an owl**.** Она такая же умная, как сова.
Not so…as (не такой, как)	**в отрицательных предложениях**	He is **not so** strong **as** a lion. Он не такой сильный, как лев**.** She is **not so** clever **as** an owl. Она не такая умная, как сова.
The…the (с двумя сравнительными степенями)	**показывает зависимость одного действия от другого**	**The more** we are together **the happier** we are. Чем больше времени мы проводим вместе, тем счастливее мы становимся. **The more** I learn this rule **the less** I understand it. Чем больше я учу это правило, тем меньше я его понимаю.

Особые замечания об употреблении сравнительных и превосходных степеней имен прилагательных:

- Сравнительная степень может быть усилена употреблением перед ней слов со значением **«гораздо, значительно»:**

His new book is **much more** interesting than previous one. *Его новая книга гораздо более интересная, чем предыдущая.*

This table **is more** comfortable than **that one**. *Этот стол более удобный чем тот.*

- После союзов **than** и **as** используются либо личное местоимение в именительном падеже с глаголом, либо личное местоимение в объектном падеже:

I can run **as** fast **as** him **(as he can).** *Я могу бегать так же быстро, как он.*

Числительное. The numeral

Перед **сотнями, тысячами, миллионами** обязательно называть их количество, даже если всего одна сотня или одна тысяча:

126 – one hundred twenty six

1139 – one thousand one hundred and thirty nine

В составе числительных – сотни, тысячи и миллионы не имеют окончания множественного числа: **two hundred – 200, three thousand – 3000, и т.д.**

НО: окончание множественного числа добавляется hundred, thousand, million, когда они выражают неопределенное количество сотен, тысяч, миллионов. В этом случае после них употребляется существительное с предлогом **“of”:**

hundreds <u>of</u> children – сотни детей

thousands <u>of</u> birds- тысячи птиц

millions <u>of</u> insects – миллионы насекомых

Начиная с 21, числительные образуются так же как в русском языке:

20+1=21 (twenty + one = **twenty one**)

60+7=67 (sixty + seven = **sixty seven**) и т.д.

Как читать даты

1043	ten forty-three
1956	nineteen fifty-six
1601	sixteen o one
2003	two thousand three
В 2003 году	in two thousand three
1 сентября	the first of September
23 февраля	the twenty-third of February

ДРОБНЫЕ ЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ (FRACTIONAL NUMERALS)

В простых дробях (Common Fractions) числитель выражается количественным числительным, а знаменатель порядковым:

1/7- one seventh одна седьмая

При чтении простых дробей, если числитель их больше единицы, к знаменателю прибавляется окончание множественного числа -s:

2/4 - two fourths - две четвертых

2/3 -two thirds - две третьих

3 1/5 - three and one fifth - три целых и одна пятая

1/2 - one second, a second, one half, a half - одна вторая, половина

1/4 -one fourth, a fourth, one quarter, a quarter - одна четвертая, четверть

В десятичных дробях (Decimal Fractions) целое число отделяется точкой, и каждая цифра читается отдельно. Нуль читается nought [no:t] (в США - zero ['zierou]).

4.25 four point twenty-five; four point two five

0.43 nought point forty-three; nought point four three

Существительные, следующие за дробью, имеют форму единственного числа, и перед ними при чтении ставится предлог -of:

2/3 metre- two thirds of a metre

две третьих метра

0.05 ton - nought point nought five of a ton

ноль целых пять сотых тонны

Существительные, следующие за смешанным числом, имеют форму множественного числа и читаются без предлога of:

35 1 /9 tons -thirty-five and one ninth tons

14.65 metres -one four (или fourteen) point six five (или sixty-five) metres

В обозначениях номеров телефонов каждая цифра читается отдельно, нуль здесь читается [ou]:

224-58-06 ['tu:'tu:'fo:'faiv'eit'ou'siks]

ТЕМА 2. Учебно-познавательная сфера общения (Я и мое образование)

Тематика общения:

1. Высшее образование в России и за рубежом.
2. Мой вуз.
3. Студенческая жизнь.

Проблематика общения:

1. Уровни высшего образования.
2. Уральский государственный горный университет.
3. Учебная и научная работа студентов.
4. Культурная и спортивная жизнь студентов.

2.1 Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

The Ural State Mining University

Mining University – Горный университет; **higher educational institution** - высшее учебное заведение; **to provide** - зд. Предоставлять; **full-time education** - очное образование; **extramural education** - заочное образование; **to award** – награждать; **post-graduate courses** – аспирантура;	**scientific research centre** - центр научных исследований; **master of science** - кандидат наук; **capable** – способный; **to take part in** - принимать участие; **graduate** – выпускник; **to dedicate** – посвящать; **to carry out scientific work** - выполнять научную работу;

Faculty of Mining Technology - горно – технологический; **Faculty of Engineering and Economics** - инженерно-экономический; **Institute of World Economics** – Институт мировой экономики; **Faculty of Mining Mechanics** - горно-механический; **Faculty of Civil Protection** – гражданской защиты; **Faculty of City Economy** – городского хозяйства;	**Faculty of Geology & Geophysics** – геологии и геофизики; **Faculty of extramural education** – заочный; **department** – кафедра; **dean** – декан; **to train specialists in** - готовить специалистов; **to consist of** - состоять из; **preparatory** – подготовительный; **additional** – дополнительный; **to offer** – предлагать;

to house - размещать /ся/; **building** – здание; **Rector's office** – ректорат; **Dean's office** – деканат; **department** – кафедра; **library** – библиотека; **reading hall** - читальный зал; **assembly hall** - актовый зал; **layout** - расположение, план; **administrative offices** - административные отделы;	**computation centre** - вычислительный центр; **canteen** – столовая; **to have meals** – питаться; **hostel** – общежитие; **to go in for sports** - заниматься спортом; **wrestling** – борьба; **weight lifting** - тяжелая атлетика; **skiing** - катание на лыжах; **skating** - катание на коньках; **chess** – шахматы;

academic work - учебный процесс; **academic year** - учебный год; **to consist of** - состоять из; **bachelor's degree** - степень бакалавра;	**general geology** - общая геология; **foreign language** - иностранный язык; **to operate a computer** - работать на компьютере;

course of studies - курс обучения; **to last** - длиться; **term** - семестр; **to attend lectures and classes** - посещать лекции и занятия; **period** - пара, 2 – х часовое занятие; **break** - перерыв; **subject** - предмет; **descriptive geometry** - начертательная геометрия;	**to take a test (an exam)** - сдавать зачет, экзамен; **to pass a test (an exam)** - сдать зачет, экзамен; **to fail a test (an exam)** - не сдать зачет, экзамен; **to fail in chemistry** - не сдать химию; **holidays, vacations** - каникулы; **to present graduation paper** - представлять дипломные работы; **for approval** - к защите;

The Faculty of Mining Technology trains specialists in: mine surveying - маркшейдерская съемка; underground mining of mineral deposits - подземная разработка месторождений полезных ископаемых; mine and underground construction - шахтное и подземное строительство; surface mining (open-cut mining) - открытые горные работы; physical processes of mining, oil and gas production - физические процессы горного и нефтегазового производства; placer mining - разработка россыпных месторождений; town cadastre - городской кадастр.

The Institute of World Economics trains specialists in: land improvement, recultivation and soil protection - мелиорация, рекультивация и охрана земель; engineer protection of environment in mining - инженерная защита окружающей среды в горном деле; computer systems of information processing and control - автоматизированные системы обработки информации и управления; economics and management at mining enterprises - экономика и управление на предприятиях горной промышленности.

The Faculty of Mining Mechanics trains specialists in: electromechanical equipment of mining enterprises - электромеханическое оборудование горных предприятий; designing & production of mining, oil and gas machinery - конструирование и производство горных и нефтегазопромысловых машин; technological and service systems of exploitation and maintenance of machines and equipment - технологические и сервисные системы эксплуатации и ремонта машин и оборудования; motorcars and self-propelled mining equipment - автомобили и самоходное горное оборудование; electric drive and automation or industrial units and technological complexes - электопривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов; automation of technological processes and industries - автоматизация технологических процессов и производств; mineral dressing - обогащение полезных ископаемых.

The Faculty of Geology & Geophysics trains specialists in: geophysical methods of prospecting and exploring mineral deposits - геофизические мет оды поисков и разведки месторождений полезных ископаемых; according to some specializations: geoinformatics – геоинформатика; applied geophysics - прикладная геофизика; structural geophysics - структурная геофизика; geological surveying and exploration or mineral deposits - геологическая съемка и поиски МПИ; geology and mineral exploration - геология и разведка МПИ; prospecting and exploration or underground waters and engineering - geological prospecting - поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания; applied geochemistry, petrology and mineralogy - прикладная геохимия, петро логия и минералогия; drilling technology - технология и техника разведки МПИ.

2.2 Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

This text is dedicated to the history of the Ural State Mining University formerly called the Sverdlovsk Mining Institute. It was founded in 1917. It is the oldest higher technical educational institution in the Urals. In 1920 the Mining Institute became a faculty of the Ural State University and in 1925 of the Ural Polytechnical Institute. In 1930 this faculty was reorganized into the Mining Institute. The Institute was named after V.V. Vakhrushev the USSR Coal Industry Minister in 1947. It was awarded the Order of the Red Banner of Labour in 1967.

In 1993 the Sverdlovsk Mining Institute was reorganized into The Ural State Academy of Wining and Geology. In 2004 The Ural State Academy of Mining and Geology was reorganized into The Ural State Mining University. The University provides full-time and extramural education in many specialities. There are post graduate courses at the University as well.

The University is an important scientific research center. Many doctors and masters of Science teach and carry out scientific work at the University. Capable students take part in research projects. The graduates of the University work all over the country.

There are six faculties at the Ural State Mining University: Faculty of Mining Technology; Faculty of Mining Mechanics; Faculty of Geology & Geophysics; Faculty of Civil Protection; Faculty of City Economy; Faculty of Extramural Education; and The Institute of World Economics.

Besides there is a Preparatory faculty where young people get special training before taking entrance exams. The Faculty of Additional Education offers an opportunity to get the second higher education.

Each faculty trains mining engineers in different specialities.

There are many specialities at the Faculty of Extramural Education where students have to combine work with studies. Very often the Ural State Mining University organizes training specialists in new modern specialities.

Faculties consist of Departments. Each faculty is headed by the Dean. The head of the Academy is the Rector.

The University is housed in four buildings. Building, One houses - the Rector's office, the Deans' offices, number of administrative offices, Faculty of City Economy, the Faculty or Mining Mechanics with its numerous departments and laboratories (labs).

Building Two houses the Faculty of Mining Technology, Faculty of Civil Protection, the Deans' offices, many departments, labs and the computation centre.

Building Three houses the Faculty of Geology & of Geophysics, the Faculty of Extramural Education, the Dean's offices, many departments and labs. The Ural Geological Museum, the Museum of the History of the Ural State Mining University and some administrative offices are also housed in this building.

Building Four houses The Institute of World Economics, the Dean's office, departments and labs, the library, reading halls, the Assembly hail, the students cultural centre and a large canteen where students can have their meals.

The library and the reading halls provide students with all kinds of reading: textbooks, reference books / справочники/ dictionaries, magazines and fiction/ художественная литература/.

Besides not far from the University there are four five-storied buildings of the student hostel, where most students live. Near the hostels there is a House of Sports. There students can go in for- different kinds of sports: chess, badminton, table tennis, boxing, wrestling, weight lifting, basketball, volleyball, handball.

The Ural State Mining University offers students three different programs of higher education such as: Bachelors, Diplomate Engineers and Magisters.

The course of studies for a bachelor's degree lasts four years. The academic year begins in September and ends in June. It consists of two terms - September to January and February to June. Students attend lectures and practical classes. As a rule, there are three or four periods of lectures and Classes a day with 20 minutes break between them.

During their first two years students take the following subjects: higher mathematics, physics, chemistry, theoretical air-mechanics, descriptive geometry, general geology, mineralogy, geodesy, history, a foreign language (English, French or German). Besides all the students learn to operate a computer.

Students take their tests and exams at the end of each term. After exams students have their holidays or vacations. At the end of the academic year the students of the academy have practical work at mines, mineral dressing plants, geological & geophysical parties. At the end of the final year students present their graduation papers for approval. After getting the Bachelor's degree the graduates have a possibility to continue their education. They can enter a Diplomate Engineer's course or studies

which lasts one academic year or the graduates can take a two-year program of Magister's degree. After defending final papers these graduates can enter the post-graduate courses.

2.3 Систематизация грамматического материала:

1. Образование видовременных форм глагола в активном залоге.

Образование видовременных форм глагола в активном залоге

Present Simple употребляется для выражения:

1. постоянных состояний,

2. повторяющихся и повседневных действий (часто со следующими наречиями: always, never, usually и т.д.). Mr Gibson is a businessman. He lives in New York, (постоянное состояние) He usually starts work at 9 am. (повседневное действие) He often stays at the office until late in the evening, (повседневное действие)

3. непреложных истин и законов природы, The moon moves round the earth.

4. действий, происходящих по программе или по расписанию (движение поездов, автобусов и т.д.). The bus leaves in ten minutes.

Маркерами present simple являются: usually, always и т.п., every day / week / month / year и т.д., on Mondays I Tuesdays и т.д., in the morning / afternoon / evening, at night / the weekend и т.д.

Present Continuous употребляется для выражения:

1. действий, происходящих в момент речи He is reading a book right now.

2. временных действий, происходящих в настоящий период времени, но не обязательно в момент речи She is practising for a concert these days. (В данный момент она не играет. Она отдыхает.)

3. действий, происходящих слишком часто и по поводу которых мы хотим высказать раздражение или критику (обычно со словом "always") "You're always interrupting me!"(раздражение)

4. действии, заранее запланированных на будущее. He is flying to Milan in an hour. (Это запланировано.)

Маркерами present continuous являются: now, at the moment, these days, at present, always, tonight, still и т.д.

Во временах **группы Continuous** обычно **не употребляются** глаголы:

1. выражающие восприятия, ощущения (see, hear, feel, taste, smell), Например: This cake tastes delicious. (Но не: This cake is tasting delicious)

2. выражающие мыслительную деятельность [know, think, remember, forget, recognize(ze), believe, understand, notice, realise(ze), seem, sound и др.],

Например: I don't know his name.

3. выражающие эмоции, желания (love, prefer, like, hate, dislike, want и др.), Например: Shirley loves jazz music.

4. include, matter, need, belong, cost, mean, own, appear, have (когда выражает принадлежность) и т.д. Например: That jacket costs a tot of money. (Но не: That jacket is costing a lot of money.)

Present perfect употребляется для выражения:

1. действий, которые произошли в прошлом в неопределенное время. Конкретное время действия не важно, важен результат, Kim has bought a new mobile phone. (Когда она его купила? Мы это не уточняем, поскольку это не важно. Важного, что у нее есть новый мобильный телефон.)

2. действий, которые начались в прошлом и все еще продолжаются в настоящем, We has been a car salesman since /990. (Он стал продавцом автомобилей в 1990 году и до сих пор им является.)

3. действий, которые завершились совсем недавно и их результаты все еще ощущаются в настоящем. They have done their shopping. (Мы видим, что они только что сделали покупки, поскольку они выходят из супермаркета с полной тележкой.)

4. Present perfect simple употребляется также со словами "today", "this morning / afternoon" и т.д., когда обозначенное ими время в момент речи еще не истекло. He has made ten photos this morning. (Сейчас утро. Указанное время не истекло.)

К маркерам present perfect относятся: for, since, already, just, always, recently, ever, how long, yet, lately, never, so far, today, this morning/ afternoon / week / month / year и т.д.

Present perfect continuous употребляется для выражения:

1. действий, которые начались в прошлом и продолжаются в настоящее время He has been painting the house for three days. (Он начал красить дом три дня назад и красит его до сих пор.)

2. действий, которые завершились недавно и их результаты заметны (очевидны) сейчас. They're tired. They have been painting the garage door all morning. (Они только что закончили красить. Результат их действий очевиден. Краска на дверях еще не высохла, люди выглядят усталыми.)

Примечание.

1. С глаголами, не имеющими форм группы Continuous, вместо present perfect continuous употребляется present perfect simple. Например: I've known Sharon since we were at school together. (А не: I've been knowing Sharon since we were at school together.)

2. С глаголами live, feel и work можно употреблять как present perfect continuous, так и present perfect simple, при этом смысл предложения почти не изменяется.
Например: He has been living/has lived here since 1994.

К маркерам present perfect continuous относятся: for. since. all morning/afternoon/week/day и т.д., how long (в вопросах).

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Put the verbs in brackets into the present simple or the present continuous.

1 A: *Do you know* (you/know) that man over there?
B: Actually, I do. He's Muriel's husband.

2 A: Are you doing anything tomorrow evening?
B: Yes. I … (see) Jack at nine o'clock.

3 A: I … (see) you're feeling better.
B: Yes, I am, thank you.

4 A: What's that noise?
B: The people next door … (have) a party.

5 A: Graham … (have) a new computer.
B: I know. I've already seen it.

6 A: This dress …. (not/fit) me any more.
B: Why don't you buy a new one?

7 A: Your perfume … (smell) nice. What is it?
B: It's a new perfume called Sunshine.

8 A: What is Jane doing?
B: She … (smell) the flowers in the garden.

9 A: What … (you/look) at?
B: Some photos I took during my holidays. They aren't very good, though.

10 A: You … (look) very pretty today.
B: Thank you. I've just had my hair cut.

11 A: I … (think) we're being followed.
B: Don't be silly! It's just your imagination.

12 A: Is anything wrong?
B: No. I … (just/think) about the party tonight.

13 A: This fabric … (feel) like silk.
B: It is silk, and it was very expensive.

14 A: What are you doing?

B: I … (feel) the radiator to see if it's getting warm.

15 A: She … (be) generous, isn't she?
B: Yes, she has never been a mean person.

16 A: He … (be) very quiet today, isn't he?
B: Yes, I think he has some problems.

17 A: Would you like some cherries?
B: Yes, please. I … (love) cherries. They're my favourite fruit.

18 A: I'm sorry, but I … (not understand) what you mean.
B: Shall I explain it again?

19 A: The children are making lots of noise today.
B: I know, but they … (have) fun.

20 A: This cake … (taste) awful.
B: I think I forgot to put the sugar in it!

2. Fill in the gaps with recently, how long, yet, for, always, ever, already, since, so far or just. Sometimes more than one answer is possible.

1 A: Has Tom finished his exams ...yet...?
B: No. He finishes them next Thursday.

2 A: … has Janet been working at the hospital?
B: She has been working there … she left school.

3 A: How are you finding your new job?
B: Great. I haven't had any problems … .

4 A: Is John at home, please?
B: No, I'm afraid he's … gone out.

5 A: Have you been waiting long?
B: Yes, I've been here … two hours.

6 A: Has Martin … been to Spain?
B: No. I don't think so.

7 A: Have you spoken to Matthew … ?
B: Yes. I phoned him last night.

8 A: Can you do the washing-up for me, please?
B: Don't worry. Mike has … done it.

9 A: Lucy has … been musical, hasn't she?
B: Yes, she started playing the piano when she was five years old.

10 A: Shall we go to that new restaurant tonight?
B: Yes. I have … been there. It's really nice.

11 A: Your dog's been barking … three hours!
B: I'm sorry. I'll take him inside.

12 A: Have you finished reading that bodk yet?
B: No. I've … started it.

3. Put the verbs in brackets into the present perfect or continuous, using short forms where appropriate.

1 A: How long ...*have you known*... (you/know) Alison?
B: We ... (be) friends since we were children.

2 A: Who … (use) the car?
B: I was. Is there a problem?

3 A: What are Andrew and David doing?
B: They … (work) in the garden for three hours.

4 A: Why is Sally upset?
B: She … (lose) her bag.

5 A: I … (always/believe) that exercise is good for you.

B: Of course, it's good to keep fit.

6 A: Emily … (teach) maths since she left university.
B: Yes, and she's a very good teacher, too.

7 A: Fred … (open) a new shop.
B: Really? Where is it?

8 A: This pie is delicious.
B: Is it? I … (not/taste) it yet.

9 A: Have you found your umbrella yet?
B: No, I … (look) for it for an hour now.

10 A: You look exhausted.
B: Well, I … (clean) the windows since 8 o'clock this morning.

11 A: Can I have some more lemonade, please?
B: Sorry, your brother … (just/drink) it all.

12 A: Have you got new neighbours?
B: Yes, they … (just/move) to the area.

4. Put the verbs in brackets into the present perfect or the present perfect continuous.

Dear Connie,

I hope you are enjoying yourself at university. I'm sure you 1)...*'ve been studying*... (study) hard. Everything is fine here at home. Billly 2) … (just/receive) his school report. It was bad, as usual. He 3) … (decide) to leave school next year and find a job. Fiona 4) … (go) to the gym every day for the past two weeks. She 5) … (try) to get in shape for the summer. She 6) … (already/plan) her holiday in the sun. Your father 7) … (sell) the old car and he 8) … (buy) a new one. It's lovely — much nicer than the old one.

Anyway, write soon.

Love, Mum

5. Fill in the gaps with have/has been (to) or have/has gone (to).

Jack: Hi, Jill. Where's Paul?

Jill: Oh, he 1) ...*has gone to*... London for a few days.

Jack: Really! I 2) … London recently. I came back yesterday. 3) … you … there?

Jill: No, I haven't. Paul 4) … twice before, though. Where's Sarah?

Jack: She 5) … Spain for two weeks with her parents. They 6) … there to visit some friends.

Jill: When is she coming back?

Jack: They'll all be back next weekend.

6. Choose the correct answer.

1 'What time does the train leave?'
'I think it ..*A*... at 2 o'clock.'
A leaves
B has been leaving
C has left

2 'Where are Tom and Pauline?'
They … e supermarket.'
A have just gone
B have been going
C go

3 What is Jill doing these days?'
She … for a job for six months.'
A is looking
B has been looking
C looks

4 Is Mandy watching TV?'
No. She … her homework right now.'
A is always doing
B is doing
C does

5 'Have you been for a walk?'
'Yes. I often … for walks in the evenings.'
A have gone
B am going
C go

6 'Have you seen any films lately?'
'Yes. Actually, I … two this week.'
A have seen
B am seeing
C see

7 'What … ?'
'It's a piece of cherry pie. Mum made it yesterday.'
A are you eating
B do you eat
C have you eaten

8 'Are you going on holiday this summer?'
'Yes. I … enough money.'
A am saving
B have already saved
C save

9 'Is Todd reading the newspaper?'
'No. He … dinner at the moment.'
A has been making
B makes
C is making

10 'Have you bought any new CDs recently?'
'Yes. Actually, I … two this week.'
A have bought
B have been buying
C am buying

11 'What time does the play start?'
'I think it … at 8 o'clock.'
A has been starting
B starts
C has started

12 'Where is Mark?'
'He … to the library to return some books.'
A has gone
B has been
C is going

13 'What … ?'
'It's a letter to my pen-friend. I'm telling her my news.'
A have'you written
B do you write
C are you writing

7. Underline the correct tense.

1. Liz and I are good friends. We **know/<u>have known</u>** each other for four years.
2. Sarah is very tired. She **has been working / is working** hard all day.
3. Where is John?' 'He's upstairs. He **does/is doing** his homework.'
4. I can't go to the party on Saturday. I **am leaving/ have been leaving** for Spain on Friday night.
5. Jane **has finished/is finishing** cleaning her room, and now she is going out with her friends.
6. I didn't recognise Tom. He **looks/is looking** so different in a suit.
7. I don't need to wash my car. Jim **washes/has washed** it for me already.
8. Ian **has been talking/is talking** to his boss for an hour now.
9. Claire's train **arrives/has arrived** at 3 o'clock. I must go and meet her at the station.
10. 'Would you like to borrow this book?' 'No, thanks. I **have read/have been reading** it before.'
11. 'Where **are you going/do you go**?' To the cinema. Would you like to come with me?'
12. Have you seen my bag? I **am searching/have been searching** for it all morning.
13. 'Is Colin here?' 'I don't know. I **haven't seen/ haven't been seeing** him all day.'
14. Sophie is very clever. She **is speaking/speaks** seven different languages.
15. We **are moving/have moved** house tomorrow. Everything is packed.

8. Put the verbs in brackets into the correct tense.

1 Who …*has been using* … (use) my toothbrush?
2 'What … (you/do)?' 'I … (write) a letter.'
3 Samantha … (play) tennis with friends every weekend.
4 Tim and Matilda … (be) married since 1991.
5 Uncle Bill … (just/decorate) the bathroom.
6 Pauline and Tom … (sing) in the school choir twice a week.
7 Who … (you/speak) to?
8 Sarah is very happy. She … (win) a poetry competition.
9 He … (drink) two cups of coffee this morning.
10 My friend … (live) in America at the moment.
11 They … (usually/change) jobs every five years.
12 I … (normally/cut) my hair myself.
13 Linda … (study) in the library for three hours.
14 We … (play) in a concert next weekend.
15 Who … (read) my diary?
16 Tim … (leave) the house at 7 o'clock every morning.
17 … (your mother/work) in a bank?
18 … (you/drink) coffee with your breakfast every day?
19 We … (make) plans for our summer holidays right now.
20 They… (move) house in September.

9. Put the verbs in brackets into the correct tense.

1 A: What ...*are you doing*... (you/do)?
B: Nothing. I … (just/finish) my lunch.
2 A: Where … (you/be) all morning?
B: I … (clean) my house since 8 o'clock.
3 A: … (you/do) anything next weekend?
B: No, I … (not/make) any plans yet.
4 A: Jane looks great. … (she/lose) weight?
B: Yes, she … (exercise) a lot recently.
5 A: … (be/you) busy right now?
B: Yes, I … (just/start) typing this report.
6 A: Where is Peter?
B: He … (wash) the car at the moment.
7 A: Who … (be) your favourite actor?

B: I … (like) Sean Connery since I was a child.

8 A: … (you/do) your homework yet?

B: Almost; I … (do) it now.

10. Put the verbs in brackets into the correct tense.

Dear Nick,

This is just a short note to tell you I 1) ...*'m arriving/arrive*... (arrive) at the airport at 5 pm on Saturday, 10th December. I 2) … (be) very busy recently, and that's why I 3) … (not/write) to you for a while. I 4) … (plan) this trip for months, so now I 5) … (look forward) to spending some time with you and your family. I 6) … (hope) you will be able to meet me at the airport. Please give my love to your wife and the children.

See you soon,
James

Past simple употребляется для выражения:

1. действий, произошедших в прошлом в определенное указанное время, то есть нам известно, когда эти действия произошли, They graduated four years ago. (Когда они закончили университет? Четыре года назад. Мы знаем время.)

2. повторяющихся в прошлом действий, которые более не происходят. В этом случае могут использоваться наречия частоты (always, often, usually и т.д.), He often played football with his dad when he was five. (Но теперь он уже не играет в футбол со своим отцом.) Then they ate with their friends.

3. действий, следовавших непосредственно одно за другим в прошлом.

They cooked the meal first.

4. Past simple употребляется также, когда речь идет о людях, которых уже нет в живых. Princess Diana visited a lot of schools.

Маркерами past simple являются: yesterday, last night / week / month / year I Monday и т.д., two days I weeks I months I years ago, then, when, in 1992 и т.д.

People used to dress differently in the past. Women used to wear long dresses. Did they use to carry parasols with them? Yes, they did. They didn't use to go out alone at night.

• **Used to** (+ основная форма глагола) употребляется для выражения привычных, повторявшихся в прошлом действий, которые сейчас уже не происходят. Эта конструкция не изменяется по лицам и числам. Например: Peter used to eat a lot of sweets. (= Peter doesn't eat many sweets any more.) Вопросы и отрицания строятся с помощью did / did not (didn't), подлежащего и глагола "use" без -d.

Например: Did Peter use to eat many sweets? Mary didn’t use to stay out late.

Вместо "used to" можно употреблять past simple, при этом смысл высказывания не изменяется. Например: She used to live in the countryside. = She lived in the countryside.

Отрицательные и вопросительные формы употребляются редко.

Past continuous употребляется для выражения:

1. временного действия, продолжавшегося в прошлом в момент, о котором мы говорим. Мы не знаем, когда началось и когда закончилось это действие, At three o'clock yesterday afternoon Mike and his son were washing the dog. (Мы не знаем, когда они начали и когда закончили мыть собаку.)

2. временного действия, продолжавшегося в прошлом (longer action) в момент, когда произошло другое действие (shorter action). Для выражения второго действия (snorter action) мы употребляем past simple, He was reading a newspaper when his wife came, (was reading = longer action: came = shorter action)

3. двух и более временных действий, одновременно продолжавшихся в прошлом. The people were watching while the cowboy was riding the bull.

4. Past continuous употребляется также для описания обстановки, на фоне которой происходили события рассказа (повествования). The sun was shining and the birds were singing. Tom was driving his old truck through the forest.

Маркерами past continuous являются: while, when, as, all day / night / morning и т.д.
when/while/as + past continuous (longer action) when + past simple (shorter action)

Past perfect употребляется:

1. для того, чтобы показать, что одно действие произошло раньше другого в прошлом. При этом то действие, которое произошло раньше, выражается past perfect simple, а случившееся позже - past simple,

They had done their homework before they went out to ptay yesterday afternoon. (=They did their homework first and then they went out to ptay.)

2. для выражения действий, которые произошли до указанного момента в прошлом,

She had watered all the flowers by five o'clock in the afternoon.
(=She had finished watering the flowers before five o'clock.)

3. как эквивалент present perfect simple в прошлом. То есть, past perfect simple употребляется для выражения действия, которое началось и закончилось в прошлом, а present perfect simple - для действия, которое началось в прошлом и продолжается (или только что закончилось) в настоящем. Например: Jill wasn't at home. She had gone out. (Тогда ее не было дома.) ЛИ isn 't at home. She has gone out. (Сечас ее нет дома.)

К маркерам past perfect simple относятся: before, after, already, just, till/until, when, by, by the time и т.д.

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Put the verbs in brackets into the past simple or the past continuous. Which was the longer action in each sentence?

1. They ...*were cleaning*... (clean) the windows when it …*started*... (start) to rain.
Cleaning the windows was the longer action.
2. As he … (drive) to work, he … (remember) that his briefcase was still at home.
3. Melanie … (cook) dinner when her husband … (come) home.
4. I … (hear) a loud crash as I … (sit) in the garden.
5. She … (type) a letter when her boss … (arrive).
6. While the dog … (dig) in the garden, it … (find) a bone.
7. Mary … (ride) her bicycle when she … (notice) the tiny kitten.
8. While I … (do) my homework, the phone … (ring).

2. A policeman is asking Mrs Hutchinson about a car accident she happened to see yesterday. Put the verbs in brackets into the past simple or the past continuous.

P: What 1) ...*were you doing*... (you/do) when you 2) … (see) the accident, madam?
H: I … (walk) down the street.
P: What exactly 4) … (you/see)?
H: Well, the driver of the car 5)… (drive) down the road when suddenly the old man just 5) … (step) in front of him! It 6) … (be) terrible!
P: 8) … (the driver/speed)?
H: No, not really, but the old man 9) … (not/look) both ways before he ... (try) to cross the road.
P: 11) ... (anyone else/see) the accident?
H: Yes, the lady in the post office.
P: Thank you very much.

3. Put the verbs in brackets into the past simple or the past continuous.

A As soon as Margaret 1) ...*got*... (get) off the train, she 2) … (pull) her coat around her. Rain 3) … (fall) heavily and a cold wind 4) … (blow) across the platform. She 5) … (look) around, but no one 6)

… (wait) to meet her. She 7) … (turn) to leave when she 8) … (hear) footsteps. A man 9) … (walk) towards her. He 10) … (smile) at her, then he 11) … (say), 'You're finally here.'

B George 1) … (pick) up his bag then, 2) … (throw) it over his shoulder. It 3) … (get) dark and he 4) … (have) a long way to go. He wished that he had let someone know that he was coming. It 5) … (start) to rain, and he was feeling cold and tired from the long journey. Suddenly, he 6) … (hear) a noise, then he 7) … (see) two bright lights on the road ahead. A car 8) … (head) towards him. It slowed down and finally 9) … (stop) beside him. A man 10) … (sit) at the wheel. He 11) … (open) the door quickly and 12) … (say) 'Get in, George.'

C Andy 1) … (step) into the house and 2) … (close) the door behind him. Everything 3) … (be) quiet. His heart 4) … (beat) fast and his hands 5) … (shake) as he crept silently into the empty house, but he was trying not to panic. He soon 6) … (find) what he 7) … (look) for. He smiled with relief as he put on the clothes. The men who 8) … (follow) him would never recognise him now.

4. Imagine that you were present when these things happened, then, in pairs, ask and answer questions, as in the example.

SA: What were you doing when the burglar broke in?
SB: I was watching TV.
SA: What did you do?
SB: I called for help.

1 The burglar broke in.
2 The storm broke.
3 The lights went out.
4 The boat overturned.
5 The earthquake hit.
6 The building caught fire.

5. Rewrite each person's comment using used to or didn't use to.

1 Sally - 'I don't walk to work any more.'
I used to walk to work.
2 Gordon - 'I've got a dog now.'
3 Lisa - 'I don't eat junk food any more.'
4 Jane - 'I go to the gym every night now.'
5 Paul - 'I'm not shy any more.'
6 Edward - 'I live in a big house now.'
7 Helen - 'I haven't got long hair any more.'
8 Frank - 'I eat lots of vegetables now.'

6. Choose the correct answer.

1 'I find it hard to get up early.'
'You ...*3*... to getting up early once you start working.'
A are used
B will get used
C were used
2 'Do you often exercise now?'
'No, but I … to exercise a lot when I was at school.'
A used
B will get used
C am used
3 'Aren't you bothered by all that noise?'
'No, we … to noise. We live in the city centre.'
A were used
B will get used

C are used

4 'Does your sister travel a lot?'
'No, but she … to before she got married.'
A didn't use
B used
C wasn't used

5 'I don't like wearing a suit every day.'
'Don't worry, you … to it very soon.'
A are used
B will get used
C were used

6 'Sandra … to using a computer, but now she enjoys it.'
'It's a lot easier for her now.'
A isn't used
B will get used
C wasn't used

7 'Do you remember the things we … to do when we were kids?'
'Of course I do. How could I forget what fun we had!'
A used
B were used
C got used

8 'Do you like living in the city?'
'Well, I … to it yet, but it's okay.'
A am not used
B wasn't used
C am used

7. Fill in the gaps with one of the verbs from the list in the correct form. Use each verb twice.

wash, walk, play, work

1 I used to ...*work*... in a shop, but now I work in an office.
2 I can't concentrate. I'm not used to … in such a noisy office.
3 Tom lived in the country for years. He used to … miles every day.
4 I'm exhausted. I'm not used to … such long distances.
5 Mary used to … her clothes by hand, but now she uses a washing machine.
6 We haven't got a washing machine, so we're used to … our clothes by hand.
7 The children are bored with the bad weather. They're used to … outside.
8 When we were younger, we used to … cowboys and Indians.

8. Put the verbs in brackets into the past simple or the present perfect.

1. A: Do you know that man?
B: Oh yes. He's a very good friend of mine. I 1) ...*'ve known*... (know) him for about ten years.
A: I think I 2) … (meet) him at a business meeting last month.

2. A: Mum 1) … (lose) her purse.
B: Where 2) … (she/lose) it?
A: At the supermarket while she was shopping.

3. A: Who was on the telephone?
B: It 1) … (be) Jane.
A: Who is Jane?
B: Someone who 2) … (work) in my office for a few years. She's got a new job now, though.

4. A: Who is your favourite singer?
B: Freddie Mercury. He 1) … (have) a wonderful voice.
A: Yes, I agree. He 2) … (enjoy) performing live, too.

9. Fill in the gaps with one of the verbs from the list in the past perfect continuous.

read, scream, argue, try, eat, watch

1. Emily was angry. She ...*had been arguing*… with her parents for an hour.
2. Hannah felt sick. She … chocolates all afternoon.
3. Allan had a headache. His baby sister … for half an hour.
4. Emily was frightened. She … a horror film for half an hour.
5. Simon was confused. He … to win the game for hours.
6. John was very tired. He … all night.

10. Put the verbs in brackets into the correct past tense.

A: On Monday morning, Jo 1) ... *missed*... (miss) the bus and had to walk to school. When she 2) … (arrive), the bell 3) … (already/ring)', and lessons 4) … (start). The children 5) … (work) quietly when Jo 6) … (walk) into the'classroom.

B: When Jamie 1) … (get) to the party, a lot of people 2) … (dance) to pop music. Everyone 3) … (wear) jeans and T-shirts. Jamie 4) … (buy) a new suit for the party and he 5) … (wear) that. He 6) … (feel) quite silly because everyone 7) … (look) at him.

Future simple употребляется:

1. для обозначения будущих действий, которые, возможно, произойдут, а возможно, и нет, We'll visit Disney World one day.

2. для предсказаний будущих событий (predictions), Life will be better fifty years from now.

3. для выражения угроз или предупреждений (threats / warnings), Stop or I'll shoot.

4. для выражения обещаний (promises) и решений, принятых в момент речи (on-the-spot decisions), I'll help you with your homework.

5. с глаголами hope, think, believe, expect и т.п., с выражениями I'm sure, I'm afraid и т.п., а также с наречиями probably, perhaps и т.п. / think he will support me. He will probably go to work.

К маркерам future simple относятся: tomorrow, the day after tomorrow, next week I month / year, tonight, soon, in a week / month year и т.д.

ПРИМЕЧАНИЕ

Future simple не употребляется после слов while, before, until, as soon as, after, if и when в придаточных предложениях условия и времени. В таких случаях используется present simple. Например: I'll make a phone call while I wait for you. (А не:... whilo I will wait for you.) Please phone me when you finish work.

В дополнительных придаточных предложениях после "when" и "if" возможно употребление future simple. Например: I don't know when I if Helen will be back.

He is going to throw the ball.

Be going to употребляется для:

1. выражения заранее принятых планов и намерений на будущее,

Например: Bob is going to drive to Manchester tomorrow morning.

2. предсказаний, когда уже есть доказательства того, что они сбудутся в близком будущем. Например: Look at that tree. It is going to fall down.

We use the **future continuous**:

a) for an action which will be in progress at a stated for an action which will be future time. *This time next week, we'll be cruising round the islands.*

b) for an action which will definitely happen in the future as the result of a routine or arrangement. *Don't call Julie. I'll be seeing her later, so I'll pass the message on.*

c) when we ask politely about someone's plans for the near future (what we want to know is if our wishes fit in with their plans.) *Will you be using the photocopier for long?*
No. Why?
I need to make some photocopies.

We use the **future perfect**:

1. For an action which will be finished before a stated future time. *She will have delivered all the newspapers by 8 o'clock.*

2. The future perfect is used with the following time expressions: before, by, by then, by the time, until/till.

We use the **future perfect continuous**:

1. to emphasize the duration of an action up to a certain time in the future. *By the end of next month, she will have been teaching for twenty years.*

The future perfect continuous is used with: by... for.

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Tanya Smirnoff is a famous astrologer. She's been invited on a TV show to give her astrological predictions for next year. Using the prompts below, make sentences, as in the example.
e.g. An eartyhquake will strike Asia.

1 earthquake/strike/Asia
2 Tom Murray/win/elections
3 economy/not improve/significantly
4 number of road accidents/increase
5 America/establish/colony/on Mars
6 scientists/not discover/cure for common cold

2. In pairs, ask and answer questions using the prompts below, as in the examples.

SA: Are you going to pay the bill?
SB: Yes, that's what I'm going to do.
SA: Are you going to complain to the manager?
SB: No, that's not what I'm going to do.

1. pay the bill (√)
2. complain to the manager (X)
3. take the skirt back to the shop (√)
4. buy the jumper (√)
5. ask the bank manager for a loan (X)
6. order the food (√)
7. book the airline tickets (X)

3. Fill in the gaps with the correct form of will or be going to and the verb in brackets.

1 A: Why are you buying flour and eggs?
B: Because I ...*'m going to make*... (make) a cake.
2 A: I have decided what to buy Mum for her birthday.
B: Really. What … (you/buy) for her?
3 A: Did you ask Jackie to the party?
B: Oh no! I forgot! I … (ask) her tonight.
4 A: Could I speak to Jim, please?
B: Wait a minute. I … (get) him for you.
5 A: What are your plans for the weekend?

B: I … (spend) some time with my friends.

6 A: What are you doing on Friday night?
B: Oh, I … (probably/stay) at home with my family.

7 A: Have you tidied your room yet?
B: No, but I promise I … (do) it this afternoon.

8 A: Look at that boy!
B: Oh yes! He … (climb) the tree.

9 A: Jason is very clever for his age.
B: Yes. He says he … (become) a doctor when he grows up.

10 A: I'm too tired to cut the grass.
B: Don't worry! I (cut) it for you.

4. Fill in the gaps with shall, will or the correct form of be going to.

1 A: It's too hot in here.
B: You're right. I ...*will*... open a window.

2 A: … I put the baby to bed, now?
B: Yes, he looks a little tired.

3 A: Have you seen Lucy recently?
B: No, but I … meet her for lunch later today.

4 A: Have you done the shopping yet?
B: No, but I … probably do it tomorrow, after work.

5 A: … we ask Mr Perkins for help with the project?
B: That's a good idea. Let's ask him now.

5. Replace the words in bold with will/won't or shall I/we, as in the example.

1 I've asked Paul to talk to the landlord, but he **refuses to** do it.
I've asked Paul to talk to the landlord, but he won't do it.

2 **Do you want me** to make a reservation for you?

3 **Can** you call Barry for me, please?

4 **Why don't we** try this new dish?

5 Where **do you want me** to put these flowers?

6. In pairs, ask and answer questions using the prompts below, as in the example.

SA: *When will you do the gardening?*
SB: *I'll do it after I've done the shopping.*

1 do the gardening / do the shopping
2 post the letters / buy the stamps
3 iron the clothes / tidy the bedroom
4 water the plants / make the bed
5 do your homework / have my dinner
6 pay the bills / take the car to the garage

7. Put the verbs in brackets into the present simple or the future simple.

1 A: I'm going to the gym tonight.
B: Well, while you ...*are*... (be) there, I … (do) the shopping.

2 A: … (you/call) me when you … (get) home?
B: Yes, of course.

3 A: As soon as John … (come) in, tell him to come to my office.
B: Certainly, sir.

4 A: I'm exhausted.
B: Me too. I wonder if David … (come) to help tonight.

5 A: Are you going to visit Aunt Mabel this afternoon?

B: Yes, I ... (visit) her before I … (do) the shopping.

6 A: Is George going to eat dinner with us?
B: No, by the time he … (get) home it … (be) very late.

7 A: When … (you/pay) the rent?
B: When I … (get) my pay cheque.

8 A: What are your plans for the future?
B: I want to go to university after I … (finish) school.

9 A: If you … (pay) for dinner, I … (pay) for the theatre.
B: Okay, that's a good idea.

10 A: Can you give this message to Mike, please?
B: Well, I'll try, but I doubt if I … (see) him today.

8. Put the verbs in brackets into the future simple, the present simple or the present continuous.

1 A: I ...*am seeing*... (see) Roger at seven o'clock tonight.
B: Really? I thought he was out of town.

2 A: … (you/do) anything on Friday morning?
B: No, I'm free.

3 A: I … (go) to the cinema. There's a new film on. Do you want to come with me?
B: What time … (the film/start)?

4 A: Helen … (have) a party the day after tomorrow. … (you/go)?
B: As a matter of fact, I haven't been invited.

5 A: The new exhibition … (open) on April 3rd and … (finish) on May 31st.
B: I know. I … (go) on the first day.

6 A: Aunt Maggie … (come) to visit us tomorrow.
B: I know. What time … (she/arrive)?

7 A: Excuse me, what time … (the train/leave)?
B: At half past three, madam.

8 A: Michael Jackson … (give) a concert at the Olympic Stadium next week.
B: I know. I … (want) to get a ticket.

9 A: I'm really thirsty.
B: I … (get) you a glass of water.

10 A: Are you looking forward to your party?
B: Yes. I hope everyone … (enjoy) it.

11 A: How old is your sister?
B: She .. (be) twelve next month.

12 A: What are you doing tonight?
B: I … (probably/watch) TV after dinner.

9. A) Cliff Turner has his own business and it is doing well. He has already decided to expand. Look at the prompts and say what he is going to do, as in the example.

1. employ more staff

He's going to employ more staff.

2. advertise in newspapers and magazines
3. equip the office with computers
4. increase production
5. move to bigger premises
6. open an office abroad

B) Cliff is always busy. Look at his schedule and say what his arrangements are for the next few days. Make sentences, as in the example.

Wednesday 12th: fly to Montreal

He is flying to Montreal on Wednesday.
Thursday 13th: give an interview to The Financial Times
Friday 14th: have lunch with sales representatives
Saturday 15th: have a meeting with Japanese ambassador
Sunday 16th: play tennis with Carol

10. ln Pairs, ask and answer the following questions using I (don't) think/expect I will or I hope /'m sure/'m afraid I will/won't, as in the example.
SA: *Do you think you will pass your exams?*
SB: *I hope I will/I'm afraid I won't.*
1 pass/exams
2 move house
3 take up / new hobby
4 make / new friends
5 start having music lessons
6 have / party on / birthday
7 learn/drive

ТЕМА 3. Социально-культурная сфера общения (Я и моя страна. Я и мир)

Тематика общения:

1. Екатеринбург – столица Урала.
2. Общее и различное в национальных культурах.

Проблематика общения:

1. Мой родной город.
2. Традиции и обычаи стран изучаемого языка.
3. Достопримечательности стран изучаемого языка.

3.1 Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

My town

a building – здание
downtown – деловой центр города
town outskirts – окраина города
a road – дорога
an avenue – проспект
a pavement/a sidewalk - тротуар
a pedestrian – пешеход
a pedestrian crossing – пешеходный переход
traffic lights – светофор
a road sign – дорожный знак
a corner – угол
a school - школа
a kindergarten – детский сад
a university - университет
an institute – институт
an embassy - посольство
a hospital - больница
a shop/a store/a shopping centre/a supermarket – магазин, супермаркет
a department store – универмаг
a shopping mall/centre – торговый центр
a food market – продуктовый рынок
a greengrocery – фруктово-овощной магазин
a chemist's/a pharmacy/a drugstore - аптека
a beauty salon – салон красоты
a hairdressing salon/a hairdresser's - парикмахерская
a dental clinic/a dentist's – стоматологическая клиника
a vet clinic – ветеринарная клиника
a laundry – прачечная
a dry-cleaner's – химчистка
a post-office – почтовое отделение
a bank – банк
a cash machine/a cash dispenser - банкомат
a library – библиотека
a sight/a place of interest - достопримечательность
a museum – музей
a picture gallery – картинная галерея
a park – парк
a fountain – фонтан
a square – площадь
a monument/a statue – памятник/статуя
a river bank – набережная реки

a beach – пляж
a bay - залив
a café – кафе
a restaurant – ресторан
a nightclub – ночной клуб
a zoo - зоопарк
a cinema/a movie theatre - кинотеатр
a theatre – театр
a circus - цирк
a castle - замок
a church – церковь
a cathedral – собор
a mosque - мечеть
a hotel – отель, гостиница
a newsagent's – газетный киоск
a railway station – железнодорожный вокзал
a bus station - автовокзал
a bus stop – автобусная остановка
an underground (metro, subway, tube) station – станция метро
a stadium – стадион
a swimming-pool – плавательный бассейн
a health club/a fitness club/a gym – тренажерный зал, фитнесс клуб
a playground – игровая детская площадка
a plant/a factory – завод/фабрика
a police station – полицейский участок
a gas station/a petrol station – заправочная автостанция, бензоколонка
a car park/a parking lot - автостоянка
an airport - аэропорт
a block of flats – многоквартирный дом
an office block – офисное здание
a skyscraper - небоскреб
a bridge – мост
an arch – арка
a litter bin/a trash can – урна
a public toilet – общественный туалет
a bench - скамья

3.2 Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

Ekaterinburg – an Industrial Centre

Ekaterinburg is one of the leading industrial centres of Russia. There are over 200 industrial enterprises of all-Russia importance in it. The key industry is machine-building. The plants of our city produce walking excavators, electric motors, turbines, various equipment for industrial enterprises.

During the Great Patriotic War Sverdlovsk plants supplied the front with arms and munitions and delivered various machinery for restoration of Donbass collieries and industrial enterprises of the Ukraine.

The biggest plants of our city are the Urals Heavy Machine Building Plant (the Uralmash), the Urals Electrical Engineering Plant (Uralelectrotyazhmash), the Torbomotorny Works (TMZ), the Chemical Machinery Building Works (Chimmash), the Verkh Iset Metallurgical Works (VIZ) and many others.

The Urals Heavy Machinery Building Plant was built in the years of the first five-year plan period. It has begun to turn out production in 1933. The machines and equipment produced by the Uralmash have laid the foundation for the home iron and steel, mining and oil industries. The plant

produces walking excavators and draglines, drilling rigs for boring super-deep holes, crushing and milling equipment for concentrators. The plant also produces rolling-mills, highly efficient equipment for blast furnaces, powerful hydraulic presses and other machines. The trade mark of the Uralmash is well-known all over the world.

The Electrical Engineering plant was put into operation in 1934. At the present time it is a great complex of heavy electrical machine-building. It produces powerful hydrogenerators, transformers, air and oil switches, rectifiers & other electrical equipment. Besides, it is one of the main producers of high-voltage machinery.

The Turbo-Motorny Works produces turbines & diesel motors for powerful trucks. The turbines manufactured by this plant are widely known not only in our country, but also abroad. The plant turned out its first turbines in 1941.

The Urals Chemical Works, the greatest plant in the country, produces machinery for the chemical industry. It also produces vacuum- filters used in different branches of oil industry.

The Verkh-Iset Metallurgical Works the oldest industrial enterprise in Ekaterinburg is now the chief producer of high grade transformer steel in the country.

Now complex mechanization & automation of production processes are being used at all industrial enterprises of Ekaterinburg. Its plants make great contribution to the development of our country's national economy.

The History of Ekaterinburg

The famous Soviet poet V. Mayakovsky called out city "A Worker and a Fighter" and these words most fully reflect the features of Ekaterinburg.

Ekaterinburg is nowadays one of the leading industrial cities of Russia, an administrative & cultural centre of the Sverdlovsk region. It is the capital of the Urals.

Ekaterinburg has sprung up in the upper reaches of the Iset River in the middle part of the Urals Mountains near the border of Europe and Asia. It stretches from North to South for 25 km. and 15 km. from East to West.

The history of our city is very interesting. It was founded at the beginning of the XVIII century as a fortress-factory in connection with the construction of the Urals iron works. The works was constructed under the supervision of Tatishchev, a mining engineer, who was sent to the Urals by Peter the first. It was put into operation in November 1723. This date is considered to be the date of the birthday of city. It was named Ekaterinburg. On the place of the first works there is the Historical Square now.

The town grew and developed as the centre of an important mining area where the mining administration office was located. Ekaterinburg was an ordinary provincial town like many others in Russia before the October Revolution. It had only one theatre, four hospitals, one mining school and not a single higher school.

At the end of the XIX century Ekaterinburg became one of the centres of the revolutionary struggle. Many squares, streets and houses of the city keep the memory of the revolutionary events and the Civil War in the Urals. They are: the 1905 Square, a traditional place of the revolutionary demonstrations of the working people, the rocks "Kamenniye Palatki", a memorial park now, which was the place of illegal meetings of Ekaterinburg workers, the Opera House where the Soviet power was proclaimed in November 8, 1917 and many others.

Ekaterinburg is closely connected with the life and activities of many famous people. Here Y.M. Sverdlov, the leader of the Urals Party organization before the Revolution and the first President of the Soviet state, carried out his revolutionary work. In 1924 Ekaterinburg was renamed in his memory.

The name of such a famous scientist and inventor of the radio as Popov, and the names of such writers as Mamin-Sibiriyak and Bazhov are also connected with Ekaterinburg.

After the October Socialist Revolution the town has changed beyond recognition. It grew quickly in the years of the first five-year plan periods. Nowadays our city is constantly growing and

developing. Modern Ekaterinburg is a city of wide straight streets, multistoried blocks of flats, big shops, beautiful palaces of culture, cinemas, fine parks and squares.

The centre of the city is 1905 Square with the monument to V.I. Lenin and the building of the City Soviet. The main street is Lenin Avenue. The total area of the city is over 400 sq. km. The population is about two million.

In connection with its 250th anniversary and for its outstanding achievements in the development of the national economy of our country Ekaterinburg was awarded the Order of Lenin.

Ekaterinburg – a Center of Science & Education

Ekaterinburg is one of the largest & most important centers of science & education in our country. The city has 15 higher schools. The oldest of them are the Mining & the Polytechnical Institutes, the Urals State University founded in 1920, the Medical & Pedagogical & many others. Ekaterinburg higher schools train specialists for practically all branches of industry, economy, education & science. The city has a student population of about 80 thousand. Besides, there are many secondary and vocational schools and over 50 technical schools (colleges). The oldest of them is the Mining Metallurgical College named after Polzunov, founded in 1847.

Much important scientific research work is carried on in Ekaterinburg. The Urals Branch of Sciences, now called the Urals Scientific Centre (UNZ), was founded in 1932. Its first chairman was the famous Soviet scientist, mineralogist and geochemist A.E. Fersman. UNZ is the main centre of scientific work now. It contains nine institutes which solve the most important theoretical and practical problems in the field of geology, mining, metallurgy, biology, economy and others.

The city has more than 120 research and designing institutions, among them Uralmechanobr, Unipromed, Nipigormash and others. It is worth mentioning that important scientific and research work is also carried on in educational establishments and at the industrial enterprises of the city, such as the Uralmash, Uralelectrotyazmash and others.

Thousands of research workers, among them 5 academicians, 10 Corresponding members of the Russian Academy of Sciences, many Doctors and Masters of Science are engaged in scientific and research work. Ekaterinburg has contributed greatly to the development of Russian science.

Ekaterinburg - a Cultural Centre

Ekaterinburg is not only an industrial and educational, but also a large cultural centre. There is a lot to be seen in the city. There are many theatres, cinemas, museums, clubs, libraries, palaces of culture, the Art Gallery and the Circus in it.

The Art Gallery houses a splendid collection of paintings of Russian and Soviet artists such as Repin, Polenov, Levitan, Perov, Slusarev, Burak, Pimenov and many others. Here you will see one of the world famous collections of metal castings made in Kasli and especially a cast Iron pavilion. It was shown in Paris at the World Exhibition and awarded the Highest Prize.

Ekaterinburg is famous for its theaters. They are the Opera & Ballet House, the Drama Theatre, the Musical Comedy, the Children’s and Puppet Theatres, the Cinema and Concert Hall "Cosmos". The Opera House was built in 1912. Many famous singers such as S. Lemeshev, I. Koslovsky, I. Arkhipova, B. Shtokolov and many others sang in that theatre. Ekaterinburg has a Philharmonic Society, film and television studios, the Urals Russian Folk Choir which is well known both at home and abroad.

There are many museums in the city: the Museum of Local Studies, the Sverdlov Museum, the Museum of Mamin-Sibiriyak, the Bazhov Museum, the Museum of Architecture. But the Urals Geological Museum is the most famous one. It is a real treasure-house of the Urals riches. The museum was opened in 1937.

Ekaterinburg is a green city with its squares, gardens and parks. The largest and the best of the parks is the Central Park of Culture and Rest. The Central Square of the City is the 1905 Square. Besides, there are some others: the Labor Square, one of the oldest of the city, located in front of the House of Trade Unions, the Komsomolskaya Square with the monument to the Urals Komsomol, the Paris Commune Square with the monument to Y.M. Sverdlov.

There are lots of monuments in the city. They are: the monument dedicated to the students and teachers of the Urals Polytechnical Institute who perished in the Great Patriotic War, the monument to the Urals Tank Corps, the monuments to Bazhov, Popov, Ordjonikidze, Malishev and many others.

There are a lot of places of interest in our city. Any visitor who comes to our city is invited to take sightseeing around it. We will be shown the historical places such as the rocks "Kamenniye Palatki", the Pupils' Creation Palace, the Historical Square, the 1905 Square.

There are several memorials to those who gave their lives in the struggle against fascism, the obelisk in the Square of Communards with the eternal flame. Such famous places of interest at the city pond with granite-lined embankment, the Palace of Youth, the lake Shartash, the Uktus Mountains and some others are most popular with the citizens of Ekaterinburg as well as with its visitors.

Ekaterinburg is a city of sports. There are a lot of sports grounds, stadiums, sports halls and a beautiful Palace of Sport in it. Ekaterinburg is often called the Winter Sports Capital. All sorts of important skiing & skating events are held in the Uktus Mountains.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland

The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland (the UK) occupies most of the territory of the British Isles. It consists of four main parts: England, Scotland, Wales and Northern Ireland. London is the capital of England. Edinburgh is the capital of Scotland, Cardiff— of Wales and Belfast — of Northern Ireland. The UK is a small country with an area of some 244,100 square kilometres. It occupies only 0.2 per cent of the world's land surface. It is washed by the Atlantic Ocean in the north-west, north and south-west and separated from Europe by the Severn, but the most important waterway is the Thames.

The climate is moderate and mild. But the weather is very changeable. The population of the United Kingdom is over 57 million people. Foreigners often call British people "English", but the Scots, the Irish and the Welsh do not consider themselves to be English. The English are Anglo-Saxon in origin, but the Welsh, the Scots and the Irish are Celts, descendants of the ancient people, who crossed over from Europe centuries before the Norman Invasion. It was this people, whom the Germanic Angles and Saxons conquered in the 5th and 6th centuries AD. These Germanic conquerors gave England its name — "Angle" land. They were conquered in their turn by the Norman French, when William the Conqueror of Normandy landed near Hastings in 1066. It was from the union of Norman conquerors and the defeated Anglo-Saxons that the English people and the English language were born. The official language of the United Kingdom is English. But in western Scotland some people still speak Gaelic, and in northern and central parts of Wales people often speak Welsh.

The UK is a highly developed industrial country. It is known as one of the world's largest producers and exporters of machinery, electronics, textile, aircraft, and navigation equipment. One of the chief industries of the country is shipbuilding.

The UK is a constitutional monarchy. In law, Head of the State is Queen. In practice, the country is ruled by the elected government with the Prime Minister at the head. The British Parliament consists of two chambers: the House of Lords and the House of Commons. There are three main political parties in Great Britain: the Labour, the Conservative and the Liberal parties. The flag of the United Kingdom, known as the Union Jack, is made up of three crosses. The big red cross is the cross of Saint George, the patron saint of England. The white cross is the cross of Saint Andrew, the patron saint of Scotland. The red diagonal cross is the cross of Saint Patrick, the patron saint of Ireland.

The United Kingdom has a long and exciting history and a lot of traditions and customs. The favorite topic of conversation is weather. The English like to drink tea at 5 o'clock. There are a lot of high daysin Great Britain. They celebrate Good Friday, Christmastide, Christmas, Valentine`s day and many others. It is considered this nation is the most conservative in Europe because people attach greater importance to traditions; they are proud of them and keep them up. The best examples are their money system, queen, their measures and weights. The English never throw away old things and don't like to have changes.

Great Britain is a country of strong attraction for tourists. There are both ancient and modern

monuments. For example: Hadrian Wall and Stonehenge, York Cathedral and Durham castle. It is no doubt London is the most popular place for visiting because there are a lot of sightseeing like the Houses of Parliament, Buckingham Palace, London Bridge, St Paul's Cathedral, Westminster Abbey, the Tower of London. Also you can see the famous Tower Clock Big Ben which is considered to be the symbol of London. Big Ben strikes every quarter of an hour. You will definitely admire Buckingham Palace. It's the residence of the royal family. The capital is famous for its beautiful parks: Hyde Park, Regent's Park. The last one is the home of London Zoo.

3.3 Систематизация грамматического материала:

1. Модальные глаголы и их эквиваленты.
2. Образование видовременных форм глагола в пассивном залоге.
3. Основные сведения о согласовании времён, прямая и косвенная речь.

Модальные глаголы

Глаголы	**Значение**	**Примеры**
CAN	физическая или умственная возможность/умение	I can swim very well. – Я очень хорошо умею плавать.
	возможность	You can go now. — Ты можешь идти сейчас.You cannot play football in the street. – На улице нельзя играть в футбол.
	вероятность	They can arrive any time. – Они могут приехать в любой момент.
	удивление	Can he have said that? – Неужели он это сказал?
	сомнение, недоверчивость	She can't be waiting for us now. – Не может быть, чтобы она сейчас нас ждала.
	разрешение	Can we go home? — Нам можно пойти домой?
	вежливая просьба	Could you tell me what time it is now? – Не могли бы вы подсказать, который сейчас час?
MAY	разрешение	May I borrow your book? – Я могу одолжить у тебя книгу?
	предположение	She may not come. – Она, возможно, не придет.
	возможность	In the museum you may see many interesting things. – В музее вы можете увидеть много интересных вещей.
	упрек – только **MIGHT (+ perfect infinitive)**	You might have told me that. – Ты мог бы мне это сказать.
MUST	обязательство, необходимость	He must work. He must earn money. – Он должен работать. Он должен зарабатывать деньги.
	вероятность (сильная степень)	He must be sick. — Он, должно быть, заболел.
	запрет	Tourists must not feed animals in the zoo. — Туристы не должны кормить животных в зоопарке.
SHOULD OUGHT TO	моральное долженствование	You ought to be polite. – Вы должны быть любезными.
	совет	You should see a doctor. – Вам следует сходить к врачу.
	упрек, запрет	You should have taken the umbrella. – Тебе следовало взять с собой зонт.
SHALL	указ, обязанность	These rules shall apply in all circumstances. – Эти правила будут действовать при любых

		обстоятельствах.
	угроза	You shall suffer. — Ты будешь страдать.
	просьба об указании	Shall I open the window? – Мне открыть окно?
WILL	готовность, нежелание/отказ	The door won't open. — Дверь не открывается.
	вежливая просьба	Will you go with me? – Ты сможешь пойти со мной?
WOULD	готовность, нежелание/отказ	He would not answer this question. – Он не будет отвечать на этот вопрос.
	вежливая просьба	Would you please come with me? — Не могли бы вы пройти со мной.
	повторяющееся/привычное действие	We would talk for hours. – Мы беседовали часами.
NEED	необходимость	Do you need to work so hard? – Тебе надо столько работать?
NEEDN'T	отсутствие необходимости	She needn't go there. — Ей не нужно туда идти.
DARE	Посметь	How dare you say that? – Как ты смеешь такое говорить?

Модальные единицы эквивалентного типа		
to be able (to) = can	Возможность соверш-я конкрет-го дей-ия в опред. момент	She **was able** to change the situation then. (Она тогда была в состоянии (могла) изменить ситуацию).
to be allowed (to) = may	Возмож-ть совер-ия дей-ия в наст.-м, прош-ом или буд-ем + оттенок разрешения	My sister **is allowed to** play outdoors. (Моей сестре разрешается играть на улице).
to have (to)= ought, must, should	Необходимость совер-я дей-я в наст.-м, прош-ом или буд-ем при опред-х об-вах	They **will have to** set up in business soon. (Им вскоре придется открыть свое дело).
to be (to)= ought, must, should	Необходимость совер-я дей-я в наст.-м, прош-ом при наличии опред. планов, распис-ий и т.д.	We **are to** send Nick about his business. (Мы должны (= планируем) выпроводить Ника

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Rephrase the following sentences using must, mustn't, needn't, has to or doesn't have to.

1 **You aren't allowed** to park your car in the college car park.

...You mustn't park your car in the college car park...

2 **I strongly advise** you to speak to your parents about your decision.

3 **It isn't necessary** for Emma to attend tomorrow's staff meeting.

4 **Jack is obliged** to wear a suit and a tie at work because the manager says so.

5 **I'm sure** Antonio is from Milan.

6 **It's necessary** for Roger to find a job soon.

7 **It's forbidden** to use mobile phones inside the hospital.

8 Susan **is obliged to** work overtime because her boss says so.

2. Rephrase the following sentences using didn't need to or needn't have done.

1 It wasn't necessary for him to wash the car. It wasn't dirty.

…He didn't need to wash the car…

2 It wasn't necessary for her to buy so many oranges, but she did.

3 It wasn't necessary for us to take an umbrella. It wasn't raining.

4 It wasn't necessary for us to turn on the light. It wasn't dark.

5 It wasn't necessary for him to call me today, but he did.
6 It wasn't necessary for you to make sandwiches for me, but you did.
7 It wasn't necessary for them to make reservations at the restaurant, but they did.

3. Rewrite the sentences using the word in bold.

1 It isn't necessary for Mark to buy new clothes for the reception.
need ...*Mark doesn't need to/needn't buy new clothes for the reception…*
2 You aren't allowed to pick these flowers. **must**
3 Sarah is obliged to type her compositions at university. **has**
4 It wasn't necessary for Paula to make the beds. **need**
5 It is your duty to obey the law. **must**
6 It wasn't necessary for Bob to wait for me, but he did. **need**
7 It is forbidden to throw litter on the beach. **must**
8 I'm sure Ronald is at home. **must**
9 It wasn't necessary for Alice to bake a cake for the party. **need**
10 It wasn't necessary for George to stay at work late last night, but he did. **have**

4. Fill in the gaps with an appropriate modal verb.

1 A: ... *May/Can/Could*... I borrow your pen, please?
B: No, you … .I'm using it.
2 A: I'm bored. What shall we do?
B: We … go for a walk.
A: No, we … because it's raining.
B: Let's watch a video, then.
3 A: My parents told me I … go to the party tonight.
B: Never mind, I … go either. We … stay at home together, though.
4 A: Sir, … .I speak to you for a moment, please?
B: Certainly, but later today; I'm busy now.
5 A: Excuse me?
B: Yes?
A: … you tell me where the post office is, please?
B: Certainly. It's on the main road, next to the school.
6 A: Is anyone sitting on that chair?
B: No, you … take it if you want to.

5. Choose the correct answer.

1 " Todd was a very talented child.'
I know. He ..*B*... play the piano well when he was seven.'
A couldn't B could C can
2 I've just taken a loaf out of the oven.
Oh, that's why I … smell fresh bread when I came home.
A was able to B can't C could
3 'How was the test?'
Easy. All the children … pass it.'
A were able to B could C can't
4 What are you doing this summer?'
'I hope I'll … go on holiday with my friends.'
A could B be able to C can

6 Rewrite the sentences using the words in bold.

1 Do you mind if I leave the door open for a while?
can ...*Can I leave the door open for a while?*...

2 You're obliged to take notes during the lecture. **have**
3 I'm sorry, but you aren't allowed to enter this room. **must**
4 Jack managed to unlock the door. **able**
5 It wasn't necessary for Ann to cook dinner, but she did. **need**
6 Let's play a game of chess. **could**
7 I'm certain Sarah is bored with her work. **must**
8 I strongly advise you to take up sport. **must**
9 I'm certain Liz isn't interested in your ideas. **can**
10 You may take the car tonight if you want. **can**

7. Study the situations and respond to each one using an appropriate modal verb.

1 You want to go on holiday with your friends this year. Ask your parents for **permission.**
...Can I go on holiday with my friends this year?...
2 You are at a job interview. You type fast, you use computers and you speak two foreign languages. Tell the interviewer about your **abilities**.
3 Your brother is trying to decide what to buy your mother for her birthday. You **suggest** a box of chocolates.
4 Your jacket is dirty and you want to wear it next week. It is **necessary** to take it to the dry cleaner's.
5 You want to have a day off work next week. Ask for your boss' **permission.**
6 You are in the car with your uncle. It's hot and you want him to open the window. Make a **request.**
7 Your mother is going to the shops. She asks you if you want anything. You tell her it **isn't necessary** to get anything for you.

8. Complete the sentences using must or can't.

1 I'm certain they go to bed early on Sunday nights. They …*must go to bed early on Sunday nights…*
2 I'm sure John didn't stay late at the office. John ...*can't have stayed late at the office…*
3 I'm certain he hasn't arrived yet. He …
4 I'm certain they are working together. They …
5 I'm sure Amy hasn't finished her homework. Amy …
6 I'm certain she was having a bath when I rang. She …
7 I'm sure he hasn't won the prize. He …
8 I'm sure she is looking for a new house. She …
9 I'm certain Paul didn't invite Linda to the party. Paul …
10 I'm certain you have been planning the project. You …
11 I'm sure she was writing a letter. She …
12 I'm certain they hadn't paid the bill. They …
13 I'm sure he had been fixing the pipe. He …

9. Rephrase the following sentences in as many ways as possible.

1 Perhaps Laura has left the phone off the hook. ...*Laura may/might/could have left the phone off the hook…*
2 Surgeons are obliged to scrub their hands before operating on patients.
3 Do you mind if I open the window?
4 It wasn't necessary for Peter to wash the dog, so he didn't.
5 Emily managed to reach the top shelf, even though she didn't have a ladder.
6 It's forbidden to copy files without the manager's permission.
7 Why don't we spend this evening at home?
8 I'm certain Patrick misunderstood my instructions.
9 I'm sure Helen didn't know about her surprise party.

10. Rephrase the following sentences in as many ways as possible.

1 Perhaps they are at work.

They ...*may/might/could be at work*…

2 Perhaps he is waiting outside. He …

3 It's possible she will work late tonight. She …

4 It's likely he was driving too fast. He …

5 It's possible they made a mistake. They …

6 Perhaps he has missed the bus. He …

7 It's possible she has been playing in the snow. She …

8 It's likely we will be leaving tomorrow. We …

9 It's likely he will stay there. He …

10 Perhaps she had been trying to call you. She …

11 It's likely they had seen the film already. They …

12 It's possible he is studying in the library. He …

Страдательный залог (Passive Voice)

образуется при помощи вспомогательного глагола to be в соответствующем времени, лице и числе и причастия прошедшего времени смысл. глагола – Participle II (III –я форма или ed-форма).

В страдательном залоге не употребляются:

1) Непереходные глаголы, т.к. при них нет объекта, который испытывал бы воздействие, то есть нет прямых дополнений которые могли бы стать подлежащими при глаголе в форме Passive.

Переходными в англ. языке называются глаголы, после которых в действительном залоге следует прямое дополнение; в русском языке это дополнение, отвечающее на вопросы винительного падежа – кого? что?: to build строить, to see видеть, to take брать, to open открывать и т.п.

Непереходными глаголами называются такие глаголы, которые не требуют после себя прямого дополнения: to live жить, to come приходить, to fly летать, cry плакать и др.

2) Глаголы-связки: be – быть, become – становиться/стать.

3) Модальные глаголы.

4) Некоторые переходные глаголы не могут использоваться в страдательном залоге. В большинстве случаев это глаголы состояния, такие как:

to fit годиться, быть впору to have иметь to lack не хватать, недоставать to like нравиться
to resemble напоминать, быть похожим to suit годиться, подходить и др.

При изменении глагола из действительного в страдательный залог меняется вся конструкция предложения:

- дополнение предложения в Active становится подлежащим предложения в Passive;
- подлежащее предложения в Active становится предложным дополнением, которое вводится предлогом by или вовсе опускается;
- сказуемое в форме Active становится сказуемым в форме Passive.

Особенности употребления форм Passive:

1. Форма Future Continuous не употребляется в Passive, вместо нее употребляется Future Indefinite:

At ten o'clock this morning Nick will be writing the letter. –At ten o'clock this morning the letter will be written by Nick.

2. В Passive нет форм Perfect Continuous, поэтому в тех случаях, когда нужно передать в Passive действие, начавшееся до какого-то момента и продолжающееся вплоть до этого момента, употребляются формы Perfect:

He has been writing the story for three months. The story has been written by him for three months.

3. Для краткости, во избежание сложных форм, формы Indefinite (Present, Past, Future) часто употребляются вместо форм Perfect и Continuous, как в повседневной речи так и в художественной литературе. Формы Perfect и Continuous чаще употребляются в научной литературе и технический инструкциях.

This letter has been written by Bill. (Present Perfect)

This letter is written by Bill. (Present Indefinite – более употребительно)

Apples are being sold in this shop. (Present Continuous)

Apples are sold in this shop. (Present Indefinite – более употребительно)

4. Если несколько однотипных действий относятся к одному подлежащему, то вспомогательные глаголы обычно употребляются только перед первым действием, например: The new course will be sold in shops and ordered by post.

Прямой пассив (The Direct Passive)

Это конструкция, в которой подлежащее предложения в Passive соответствует прямому дополнению предложения в Active. Прямой пассив образуется от большинства переходных глаголов.

I gave him a book. Я дал ему книгу. A book was given to him. Ему дали книгу. (или Книга была дана ему)

The thief stole my watch yesterday. Вор украл мои часы вчера.

My watch was stolen yesterday. Мои часы были украдены вчера.

В английском языке имеется ряд переходных глаголов, которые соответствуют непереходным глаголам в русском языке. В английском они могут употребляться в прямом пассиве, а в русском – нет. Это:to answer отвечать кому-л.

to believe верить кому-л. to enter входить (в) to follow следовать (за) to help помогать кому-л.

to influence влиять (на) to join присоединяться to need нуждаться to watch наблюдать (за)

Так как соответствующие русские глаголы, являясь непереходными, не могут употребляться в страдательном залоге, то они переводятся на русский язык глаголами в действительном залоге:

Winter is followed by spring.

А при отсутствии дополнения с предлогом by переводятся неопределенно-личными предложениями: Your help is needed.

Косвенный пассив (The Indirect Passive)

Это конструкция, в которой подлежащее предложения в Passive соответствует косвенному дополнению предложения в Active. Она возможна только с глаголами, которые могут иметь и прямое и косвенное дополнения в действительном залоге. Прямое дополнение обычно означает предмет (что?), а косвенное – лицо (кому?).

С такими глаголами в действительном залоге можно образовать две конструкции:

а) глагол + косвенное дополнение + прямое дополнение;

б) глагол + прямое дополнение + предлог + косвенное дополнение:

а) They sent Ann an invitation.- Они послали Анне приглашение.

б) They sent an invitation to Ann. - Они послали приглашение Анне.

В страдательном залоге с ними также можно образовать две конструкции – прямой и косвенный пассив, в зависимости от того, какое дополнение становится подлежащим предложения в Passive. К этим глаголам относятся:to bring приносить

to buy покупать to give давать to invite приглашать to leave оставлять

to lend одалживать to offer предлагать to order приказывать to pay платить

to promise обещать to sell продавать to send посылать to show показывать

to teach учить to tell сказать и др.

Например: Tom gave Mary a book. Том дал Мэри книгу.

Mary was given a book. Мэри дали книгу. (косвенный пассив – более употребителен)

A book was given to Mary. Книгу дали Мэри. (прямой пассив – менее употребителен)

Выбор между прямым или косвенным пассивом зависит от смыслового акцента, вкладываемого в последние, наиболее значимые, слова фразы:

John was offered a good job. (косвенный пассив) Джону предложили хорошую работу.

The job was offered to John. (прямой пассив) Работу предложили Джону.

Глагол to ask спрашивать образует только одну пассивную конструкцию – ту, в которой подлежащим является дополнение, обозначающее лицо (косвенный пассив):

He was asked a lot of questions. Ему задали много вопросов.

Косвенный пассив невозможен с некоторыми глаголами, требующими косвенного дополнения (кому?) с предлогом to. Такое косвенное дополнение не может быть подлежащим в Passive, поэтому в страдательном залоге возможна только одна конструкция – прямой пассив, то есть вариант: Что? объяснили, предложили, повторили…Кому? Это глаголы:to address адресовать

to describe описывать to dictate диктовать to explain объяснять to mention упоминать

to propose предлагать to repeat повторять to suggest предлагать to write писать и др.

Например: The teacher explained the rule to the pupils. – Учитель объяснил правило ученикам. The rule was explained to the pupils. – Правило объяснили ученикам. (Not: The pupils was explained…)

Употребление Страдательного залога

В английском языке, как и в русском, страдательный залог употр. для того чтобы:

1. Обойтись без упоминания исполнителя действия (70% случаев употребления Passive) в тех случаях когда:

а) Исполнитель неизвестен или его не хотят упоминать:

He was killed in the war. Он был убит на войне.

б) Исполнитель не важен, а интерес представляет лишь объект воздействия и сопутствующие обстоятельства:

The window was broken last night. Окно было разбито прошлой ночью.

в) Исполнитель действия не называется, поскольку он ясен из ситуации или контекста:

The boy was operated on the next day. Мальчика оперировали на следующий день.

г) Безличные пассивные конструкции постоянно используются в научной и учебной литературе, в различных руководствах: The contents of the container should be kept in a cool dry place. Содержимое упаковки следует хранить в сухом прохладном месте.

2. Для того, чтобы специально привлечь внимание к тому, кем или чем осуществлялось действие. В этом случае существительное (одушевленное или неодушевленное.) или местоимение (в объектном падеже) вводится предлогом by после сказуемого в Passive.

В английском языке, как и в русском, смысловой акцент приходится на последнюю часть фразы. He quickly dressed. Он быстро оделся.

Поэтому, если нужно подчеркнуть исполнителя действия, то о нем следует сказать в конце предложения. Из-за строгого порядка слов английского предложения это можно осуществить лишь прибегнув к страдательному залогу. Сравните:

The flood broke the dam. (Active) Наводнение разрушило плотину. (Наводнение разрушило что? – плотину)

The dam was broken by the flood. (Passive) Плотина была разрушена наводнением. (Плотина разрушена чем? – наводнением)

Чаще всего используется, когда речь идет об авторстве:

The letter was written by my brother. Это письмо было написано моим братом.

И когда исполнитель действия является причиной последующего состояния:

The house was damaged by a storm. Дом был поврежден грозой.

Примечание: Если действие совершается с помощью какого-то предмета, то употребляется предлог with, например:

He was shot with a revolver. Он был убит из револьвера.

Перевод глаголов в форме Passive

В русском языке есть три способа выражения страдательного залога:

1. При помощи глагола "быть" и краткой формы страдательного причастия, причем в настоящем времени "быть" опускается:

I am invited to a party.

Я приглашён на вечеринку.

Иногда при переводе используется обратный порядок слов, когда русское предложение начинается со сказуемого: New technique has been developed. Была разработана новая методика.

2. Глагол в страдательном залоге переводится русским глаголом, оканчивающимся на –ся(-сь):

Bread is made from flour. Хлеб делается из муки.

Answers are given in the written form. Ответы даются в письменном виде.

3. Неопределенно-личным предложением (подлежащее в переводе отсутствует; сказуемое стоит в 3-м лице множественного числа действительного залога). Этот способ перевода возможен только при отсутствии дополнения с предлогом by (производитель действия не упомянут):

The book is much spoken about. Об этой книге много говорят.

I was told that you're ill. Мне сказали, что ты болен.

4. Если в предложении указан субъект действия, то его можно перевести личным предложением с глаголом в действительном залоге (дополнение с by при переводе становится подлежащим). Выбор того или иного способа перевода зависит от значения глагола и всего предложения в целом (от контекста):

They were invited by my friend. Их пригласил мой друг.(или Они были приглашены моим другом.)

Примечание 1: Иногда страдательный оборот можно перевести двумя или даже тремя способами, в зависимости от соответствующего русского глагола и контекста:

The experiments were made last year.

1) Опыты были проведены в прошлом году.

2) Опыты проводились в прошлом году.

3) Опыты проводили в прошлом году.

Примечание 2: При переводе нужно учитывать, что в английском языке, в отличие от русского, при изменении залога не происходит изменение падежа слова, стоящего перед глаголом (например в английском she и she, а переводим на русский - она и ей):

Примечание 3: Обороты, состоящие из местоимения it с глаголом в страдательном залоге переводятся неопределенно-личными оборотами:

It is said… Говорят… It was said… Говорили…

It is known… Известно… It was thought…Думали, полагали…

It is reported… Сообщают… It was reported…Сообщали…и т.п.

В таких оборотах it играет роль формального подлежащего и не имеет самостоятельного значения: It was expected that he would return soon. Ожидали, что он скоро вернется.

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. What happens to a car when it is taken for a service? Look at the prompts and make sentences using the present simple passive, as in the example.

1. the oil / change

The oil is changed.

2. the brakes / test

3. the filters / replace

4. air / put / in the tyres

5. the battery / check

6. the lights / test
7. broken parts / repair
8. it / take / for a test drive
9. the radiator / fill / with water

2. Mr Sullivan, who is a director, is preparing a scene for his new film. Read the orders and respond using the present continuous passive, as in the example.

1. Move that scenery, please.
It's being moved now, Mr Sullivan.
2. Put those props in place, please.
3. Call the actors, please.
4. Check their costumes, please.
5. Turn on the lights, please.

3. Detective Maguire is talking to a police officer about a burglary which happened early yesterday morning. In pairs, ask and answer questions using the prompts below, as in the example

1. Have you dusted the house for fingerprints yet?
the house / dust / for fingerprints yesterday
Yes, the house was dusted for fingerprints yesterday.
2. Have you found any evidence yet?
a piece of material / find / this morning
3. Have you interviewed the house owners yet?
they / interview / last night
4. Have you questioned the neighbours yet?
they / question / this morning
5. Have you arrested any suspects yet?
two men / arrest / yesterday evening
6. Have you interrogated the suspects yet?
they / interrogate / last night
7. Have you recovered the stolen goods yet?
they / recover / this morning
8. Have you written your report yet?
it / complete / an hour ago

4. Helen and Chris moved house two years ago. Yesterday, they drove past their old house and saw that it looked very different. Describe the changes using the present perfect simple passive, as in the example.

1. the outside walls / paint
The outside walls have been painted.
2. new windows / put in
3. a garden pond / make
4. the trees / cut down
5. a lot of flowers / plant
6. the old gate / replace

5. A young actress is hoping to star in a new film. Her friend is asking her what is going to happen. Respond to her questions using the passive infinitive, as in the example.

1. Will they audition you for the new film?
Well, I hope to be auditioned.
2. Will they give you a leading role?
3. Will they pay you a lot of money?
4. Will they send you to Hollywood?

5. Will they introduce you to all the stars?
6. Will they ask you to give a TV interview?
7. Will they give you an award?

6. Put the verbs in brackets into the correct passive tense.

1. A: Who looks after your garden for you?
B: It ...*is looked after*... (look after) by my brother.
2. A: That's a beautiful dress. Where did you buy it?
B: Actually, it … (make) for me by my aunt.
3. A: Have you typed that letter yet, Miss Brown?
B: It … (type) right now, sir.
4. A: Did you make the coffee when you got to work this morning?
B: No, it …. (already/make) by the time I got there.
5. A: Are you going to pick up the children today?
B: No, they … (pick up) by Roger. I've already arranged it.
6. A: Where is your watch?
B: I broke it. It … (repair) at the moment.
7. A: Has the new furniture for my bedroom arrived?
B: No, it … (not/deliver) yet.
8. A: They are building a new sports centre in town.
B: I know. It … (open) by the mayor next month.

7. Rewrite the sentences in the passive, where possible.

1. John opened the door.
...*The door was opened by John.*
2. They didn't come home late last night.
...*It cannot be changed.*
3. Their nanny takes them to the park every day.
4. I left very early yesterday afternoon.
5. Meg asked the policeman for directions.
6. Charles is moving house next month.
7. The letter arrived two days ago.
8. Sam took these photographs.

8. Fill in by or with.

1. The lock was broken ...*with*... a hammer.
2. This book was written … my favourite author.
3. The cake was decorated… icing.
4. The tiger was shot … a gun.
5. Claire was shouted at … her teacher.
6. He was hit on the head … an umbrella.

9. Rewrite the sentences in the passive.

1. Someone is repairing the garden fence.
...*The garden fence is being repaired*....
2. Do they teach Latin at this school?
3. I don't like people pointing at me.
4. She hit him on the head with a tennis racquet.
5. Michael has made the preparations.
6. Is Tim cleaning the house?
7. Who built the Pyramids?
8. The boss is going to give us a pay rise.

9. I expect they will deliver my new car soon.
10. The police are questioning the suspects.
11. Did your next door neighbours see the thieves?
12. Paul remembers his teacher asking him to star in the school play.
13. A lot of children use computers nowadays.
14. Who smashed the kitchen window?
15. They won't have completed the work by the end of the month.
16. The children will post the letters.
17. People make wine from grapes.
18. Had Helen closed the windows before she left the house?
19. Jill hasn't done the housework yet.
20. They may not deliver the parcel today.

10. Put the verbs in brackets into the correct passive tense.

A: Do you still work at Browns and Co?
B: Yes, I do. I 1) ...*have been employed*... (employ) by Mr Brown for five years now, you know.
A: Oh. Do you still enjoy it?
B: Oh yes! I 2) … (give) a promotion last year and I'm very happy.
A: A promotion? So, what is your job now?
B: I 3) … (make) Head of European Sales.
A: So, what do you do?
B: Well, sometimes I 4) … (send) to other countries on business.
A: I see. Do they pay you well?
B: Well, I 5) … (pay) quite well and I expect I 6) … (give) a pay rise soon.
A: Good for you!

Согласование времен (Sequence of Tenses)

Если в главном предложении сказуемое выражено глаголом в одной из форм прошедшего времени, то в придаточном предложении употребление времен ограничено. Правило, которому в этом случае подчиняется употребление времен в придаточном предложении, называется согласованием времен.

Правило 1: Если глагол главного предложения имеет форму настоящего или будущего времени, то глагол придаточного предложения будет иметь любую форму, которая требуется смыслом предложения. То есть никаких изменений не произойдет, согласование времен здесь в силу не вступает.

Правило 2: Если глагол главного предложения имеет форму прошедшего времени (обычно Past Simple), то глагол придаточного предложения должен быть в форме одного из прошедших времен. То есть в данном случае время придаточного предложения изменится. Все эти изменения отражены в нижеследующей таблице:

Переход из одного времени в другое	Примеры	
Present Simple » Past Simple	He **can speak** French – Он говорит по-французски.	Boris said that he **could speak** French – Борис сказал, что он говорит по-французски.
Present Continuous » Past Continuous	They **are listening** to him – Они слушают его	I **thought** they **were listening** to him – Я думал, они слушают его.
Present Perfect » Past Perfect	Our teacher **has asked** my parents to help him – Наш учитель попросил моих родителей помочь ему.	Mary **told** me that our teacher **had asked** my parents to help him – Мария сказала мне, что наш учитель попросил моих родителей помочь ему.

Past Simple » Past Perfect	I **invited** her – Я пригласил ее.	Peter **didn't know** that I **had invited** her – Петр не знал, что я пригласил ее.
Past Continuous » Past Perfect Continuous	She **was crying** – Она плакала	John **said** that she **had been crying** – Джон сказал, что она плакала.
Present Perfect Continuous » Past Perfect Continuous	It **has been raining** for an hour – Дождь идет уже час.	He **said** that it **had been raining** for an hour – Он сказал, что уже час шел дождь.
Future Simple » Future in the Past	She **will show** us the map – Она покажет нам карту.	I **didn't expect** she **would show** us the map – Я не ожидал, что она покажет нам карту.

Изменение обстоятельств времени и места при согласовании времен.

Следует запомнить, что при согласовании времен изменяются также некоторые слова (обстоятельства времени и места).

this » that
these » those
here » there
now » then
yesterday » the day before
today » that day
tomorrow » the next (following) day
last week (year) » the previous week (year)
ago » before
next week (year) » the following week (year)

Перевод прямой речи в косвенную в английском языке

Для того чтобы перевести прямую речь в косвенную, нужно сделать определенные действия. Итак, чтобы передать чьи-то слова в английском языке (то есть перевести прямую речь в косвенную), мы:

1. ***Убираем кавычки и ставим слово that***

Например, у нас есть предложение:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Чтобы передать кому-то эти слова, так же как и в русском, мы убираем кавычки и ставим слово that – «что».

She said that ….. Она сказала, что….

2. ***Меняем действующее лицо***

В прямой речи обычно человек говорит от своего лица. Но в косвенной речи мы не может говорить от лица этого человека. Поэтому мы меняем «я» на другое действующее лицо. Вернемся к нашему предложению:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Так как мы передаем слова девушки, вместо «я» ставим «она»:

She said that she ….. Она сказала, что она….

3. Согласовываем время

В английском языке мы не можем использовать в одном предложении прошедшее время с настоящим или будущим. Поэтому, если мы говорим «сказал» (то есть используем прошедшее время), то следующую часть предложения нужно согласовать с этим прошедшем временем. Возьмем наше предложение:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Чтобы согласовать первую и вторую части предложения, меняем will на would. *см. таблицу выше.*

She said that she would buy a dress. Она сказала, что она купит платье.

4. Меняем некоторые слова

В некоторых случаях мы должны согласовать не только времена, но и отдельные слова. Что это за слова? Давайте рассмотрим небольшой пример.

She said, “I am driving now”. Она сказала: «Я за рулем сейчас».

То есть она в данный момент за рулем. Однако, когда мы будем передавать ее слова, мы будем говорить не про данный момент (тот, когда мы говорим сейчас), а про момент времени в прошлом (тот, когда она была за рулем). Поэтому мы меняем now (сейчас) на then (тогда) *см. таблицу выше.*

She said that she was driving then. Она сказала, что она была за рулем тогда.

Вопросы в косвенной речи в английском языке

Вопросы в косвенной речи, по сути, не являются вопросами, так как порядок слов в них такой же, как в утвердительном предложении. Мы не используем вспомогательные глаголы (do, does, did) в таких предложениях.

He asked, “Do you like this cafe?” Он спросил: «Тебе нравится это кафе?»

Чтобы задать вопрос в косвенной речи, мы убираем кавычки и ставим if, которые переводятся как «ли». Согласование времен происходит так же, как и в обычных предложениях. Наше предложение будет выглядеть так:

He asked if I liked that cafe. Он спросил, нравится ли мне то кафе.

Давайте рассмотрим еще один пример:

She said, “Will he call back?” Она сказала: «Он перезвонит?»

She said if he would call back. Она сказала, перезвонит ли он.

Специальные вопросы в косвенной речи

Специальные вопросы задаются со следующими вопросительными словами: what – что when – когда how – как why - почему where – где which – который

При переводе таких вопросов в косвенную речь мы оставляем прямой порядок слов (как в утвердительных предложениях), а на место if ставим вопросительное слово.

Например, у нас есть вопрос в прямой речи:

She said, “When will you come?”. Она сказала: «Когда ты придешь?»

В косвенной речи такой вопрос будет выглядеть так:

She said when I would come. Она сказала, когда я приду.

He asked, “Where does she work?” Он спросил: «Где она работает?»

He asked where she worked. Он спросил, где она работает.

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Fill in the gaps with the correct pronoun or possessive adjective.

1. James said, 'My boss wants me to go to London tomorrow.'
James said ...*his*... boss wanted to go to London the following day.
2. Mary said, 'I'm waiting for my son to come out of school.'
Mary said that … was waiting for … son to come out of school.
3. George said, 'I've bought a new car for my mum.'
George said … had bought a new car for … mum.
4. Julie said to me, 'I need you to help me with the shopping.'
Julie told me that … needed … to help … with the shopping.
5. John said, 'I'd like to take you out to dinner.'
John said … 'd like to take … out to dinner.
6. Helen said to Jane, 'I think your new haircut is lovely.'
Helen told Jane that … thought … new haircut was lovely.

2. Turn the following sentences into reported speech.

1. Robin said, These biscuits taste delicious.' ...
Robin said (that) the biscuits tasted delicious....

2. “I can't see you this afternoon because I've got a lot to do,' Ann told me.
3. She came into the room holding some letters in her hand and said, 'I found these while I was tidying the desk drawers.'
4. Fiona said, That picture was painted by my great-grandfather.'
5. “Those were good times for my family,' Jack said.
6. 'I received a parcel this morning, but I haven't opened it yet,' Tom said.
7. "You mustn't do that again,' Mum said to Bob.
8. “These shoes are worn out. You'd better throw them away,' Mum said to me.

3. Turn the following sentences into reported speech.

1 He said, 'I'm going to the station.'

...He said (that) he was going to the station....

2 Tina said, 'You should exercise regularly.'
3 They said, 'We had booked the room before we left.'
4 Tom said, This meal is delicious.'
5 'I've written you a letter,' she said to her friend.
6 'We've decided to spend our holidays in Jordan,' they told us.
7 Jill said, “I’ll go to the bank tomorrow.'
8 She said to him, 'We've been invited to a wedding.'
9 She told me, 'You must leave early tomorrow.'
10 They've gone out for the evening,' Jessie said to me.
11 They said, 'We may visit Joe tonight.'
12 She said, 'I can meet you on Tuesday.'
13 Keith said, There is a letter for you on the table.'
14 'We won't be visiting Tom this evening,' Sam told us.
15 Eric said, They had been talking on the phone for an hour before I interrupted them.'
16 'I haven't spoken to Mary since last week,' Gloria said.
17 They delivered the letters this morning,' she said.
18 He said, 'I'd like to buy this jumper.'
19 They aren't going on holiday this year,' he said.
20 Jane said, 'I haven't finished my homework yet.'
21 'I'm going to bed early tonight,' Caroline said.
22 'My mother is coming to visit us,' I said.
23 'We don't want to watch a film tonight,' the children said.
24 'He's playing in the garden now,' his mother said.
25 She said, 'You must do your homework now.'

4. Turn the sentences into reported speech. In which of the following sentences do the tenses not change? In which do they not have to be changed? Why?

1 The article says, “The artist only uses oil paints.'

...The article says (that) the artist only uses oil paints....

... The tenses do not change because the introductory verb is in the present simple....

2 'They are working hard today,' he said.
3 'I've done the things you asked me to do,' Mary said.
4 The sun rises in the east,' she said.
5 'He broke the window,' they said.
6 'We've never been on holiday abroad,' they said.
7 Mum says, 'Dinner is ready.'
8 “I’ll start cooking at six o'clock,' she said.
9 'We went to the supermarket yesterday,' he said.
10 Mrs Jones says, 'My daughter is going to have a baby.'
11 'You're never going to get a job,' Dad always says.

12 'Fish live in water,' he said.
13 'We went to the beach last weekend,' they said.
14 'He showed me his photographs,' she said.
15 'I'm working on my project now,' Billy said.

5. Turn the following sentences into reported speech.

1 'Seaweed grows in the sea,' the teacher said to the students.

...The teacher said to the students/told the students (that) seaweed grows/grew in the sea....

2 'I saw Amanda at the cinema,' she said, (up-to-date reporting)
3 They don't live here any more,' he said to me. (out-of-date reporting)
4 "Canada is a large country,' he said.
5 The Statue of Liberty is in America,' she said to us
6 “I’ll help you with your homework,' he said, (out-of-date reporting)
7 'I would go on holiday if I had enough money,' Bill said, (up-to-date reporting)
8 'If I'm free, I'll call you,' Tom said, (up-to-date reporting)
9 'You should make a decision,' he said to us.
10 'You can ask John for advice,' she said, (up-to-date reporting)

6. Turn the following into reported questions.

1 'Where do you live?' I asked her.

...I asked her where she lived....

2 'How old will you be on your next birthday?" he asked me.
3 'Where is your umbrella?' she asked her daughter.
4 'Do you like playing football?' John asked us.
5 The boss asked, 'What time are you going home today?'
6 'Will you take the children to school today?' he asked.
7 'Who called you today?' she asked.
8 'When will you decorate the kitchen?' Martha asked.
9 'Who broke my vase?' I asked.
10 Father asked, 'Will you help me lift these boxes, please?'
11 'Can you speak a foreign language?' she asked her.
12 'Where is the tourist information centre?' we asked.

7. Yesterday, Marion met a couple who were on holiday in London. They were looking at a map. She asked them some questions. Turn them into reported questions.

1 'Are you lost?'

...Marion asked them if/whether they were lost....

2 'Can you speak English?'
3 'Where are you from?'
4 'Is your hotel near here?'
5 'Where do you want to go?'
6 'Were you looking for Big Ben?'
7 'Have you been to the British Museum?'
8 'Have you visited Buckingham Palace?'
9 'Do you like London?'

8. Fill in the gaps with the introductory verbs in the list in the correct form.

order, tell, ask, beg, suggest

1 'Please visit me in hospital,' Joan said to Colin.

Joan ...*asked*... Colin to visit her in hospital.

2 'Let's eat out this evening,' Paul said to her.

Paul … eating out that evening.

3 'Please, please be careful,' she said to him.
She … him to be careful.
4 'Don't go near the fire,' Dad said to us.
Dad … us not to go near the fire.
5 'Be quiet!' the commander said to the troops.
The commander … the troops to be quiet

9. Turn the following sentences into reported speech.

1 'Let's try the exercise again.'
The ballet teacher suggested trying the exercise again.
2 'Lift your leg higher please, Rachel.'
3 'Turn your head a little more.'
4 'Don't lean back.'

10. Turn the following sentences into reported speech.

1 The doctor said to the patient, 'Come back to see me again next week.'
... The doctor told the patient to go back and see him again the following week/the week after.
2 The guard said to the driver, 'Stop!'
3 He said, 'Shall we go for a walk?'
4 She said to him, 'Please, please don't leave me!'
5 Jenny said to Dave, 'Please help me with this
6 She said to him, 'Open the window, please.'
7 Mother said, 'How about going for a drive?'
8 She said, 'Let's eat now.'

ТЕМА 4. Профессиональная сфера общения (Я и моя будущая специальность)

Тематика общения:

1. Избранное направление профессиональной деятельности.

4.1 Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

My speciality

The Earth's Crust and Useful Minerals

cause - v заставлять; вызывать; влиять; причинять; *n* причина, основание; дело; общее дело; *syn* **reason**

clay - *n* глина; глинозем

consolidate - v твердеть, затвердевать, уплотнять(ся); укреплять; *syn* **solidify**

crust - *n* кора; *геол.* земная кора

decay - v гнить, разлагаться; *n* выветривание *(пород);* распад, разложение

derive - v (from) происходить, вести свое происхождение *(от);* наследовать

destroy - v разрушать; уничтожать; **destructive** *a* разрушительный

dissolve v растворять

expose - v выходить *(на поверхность);* обнажаться; **exposure** - *n* обнажение

external - *a* внешний

extrusive - *a* эффузивный, излившийся *(о горной породе)*

force - v заставлять, принуждать; ускорять движение; *n* сила; усилие

glacier - *n* ледник, глетчер

grain - *n* зерно; **angular grains** - угловатые зерна *(минералов);* **grained** - *a* зернистый

gravel - *n* гравий, крупный песок

internal - *a* внутренний

intrusive - *a* интрузивный, плутонический

iron - *n* железо

layer - *n* пласт

like - *a* похожий, подобный; *syn* **similar;** *ant* **unlike;** *adv* подобно

lime - *n* известь; **limestone** - *n* известняк

loose - *a* несвязанный, свободный; рыхлый

make up - v составлять; *n* состав *(вещества)*

particle - *n* частица; включение

peat - *n* торф; торфяник

represent - v представлять собою; означать; быть представителем; **representative** - представитель; **representative** - *a* характерный, типичный

rock – *n* горная порода; **igneous** - изверженная порода; **sedimentary** - осадочная порода

sand - *n* песок

sandstone - *n* песчаник; **fine-grained (medium-grained, coarse-grained)** - мелкозернистый (среднезернистый, грубозернистый) песчаник

sediment - *n* отложение; осадочная порода; **sedimentary** - *a* осадочный; **sedimentation** - *n* образование осадочных пород

schist - *n (кристаллический)* сланец; **schistose** - *a* сланцеватый, слоистый

shale - *n* сланец, сланцевая глина, глинистый сланец; **clay** - глинистый сланец; **combustible …, oil …** - горючий сланец

siltstone - *n* алеврит

stratification - *n* напластование, залегание

stratify - v напластовываться; отлагаться пластами; **stratified** *a* пластовый; *syn* **layered, bedded**

substance - *n* вещество, материал; сущность

thickness - *n* толщина, мощность

value - *n* ценность; важность; величина; значение; **valuable** - *a* ценный *(о руде)*

vary - v изменять(ся); отличать(ся); *syn* **differ, change (from); variable** - *a* переменный; непостоянный; **various** *a* различный; *syn* **different**

contain - v содержать *(в себе),* вмещать

crack - *n* трещина; щель; v давать трещину; трескаться, раскалываться

contract - v сжиматься; сокращаться

dust - *n* пыль

expand - v расширяться); увеличивать(ся) в объеме; **expansion** *n* расширение; *ant* **contract**

fissure - *n* трещина *(в породе, угле);* расщелина; щель

fracture - *n* трещина; излом; разрыв; v ломать(ся); раздроблять *(породу)*

freeze - *v* замерзать; замораживать; застывать

gradual - *a* постепенный; **gradually** *adv* постепенно

hard - *a* твердый, жесткий; *ant* **soft;** тяжелый (о *работе); adv* сильно, упорно; **hardly** *adv* едва, с трудом

hole - *n* отверстие; скважина; шпур; шурф

influence - *n* влияние; v **(on, upon)** влиять (не *что-л.)*

lateral - *a* боковой

occur - *v* залегать; случаться; происходить; *syn* **take place, happen; occurrence** - *n* залегание; **mode of occurrence** - условия залегания

penetrate - *v* проникать *(внутрь),* проходить через *(что-л.)*

phenomenon - *n* явление; *pi* **phenomena**

pressure - *n* давление; **lateral pressure** боковое *(горизонтальное)* давление; **rock pressure** горное давление, давление породы

rate - *n* степень, темп; скорость, норма; производительность; сорт; *syn* **speed, velocity**

refer - v (to) ссылаться *(на что-л.);* относиться *(к периоду, классу)*

resist - *v* сопротивляться; противостоять; противодействовать; **resistance** - *n* сопротивление; **resistant** - *a* стойкий; прочный; сопротивляющийся

size - *n* размер; величина; класс *(угля)*

solution – *n* раствор; **soluble** - *a* растворимый; **solvent** - растворитель; *a* растворяющий

succession – *n* последовательность, непрерывный ряд; **in succession** последовательно

undergo (underwent, undergone) - *v* испытывать *(что-л.),* подвергаться *(чему-л.)*

uniform – *a* однородный; одинаковый

weathering - *n* выветривание; эрозия *(воздействию, влиянию и т.д.)*

to be subjected to подвергаться

Rocks of Earth's Crust

abyssal - *a* абиссальный, глубинный; **hypabissal** - *a* гипабиссальный

adjacent - *a* смежный, примыкающий

ash - *n* зола

belt - *n* пояс; лента; ремень

body - *n* тело, вещество; **solid (liquid, gaseous) bodies** твердые (жидкие, газообразные) вещества; породная масса; массив; месторождение; пласты

common - *a* обычный; общий; *syn* **general;** *ant* **uncommon**

cool - v охлаждать(ся); остывать; прохладный; *ant* **heat** нагревать(ся)

dimension - *n* измерение; *pl* размеры; величина; *syn* **measurement, size**

dust - *n* пыль

dyke – *n* дайка

extrusion - *n* вытеснение; выталкивание; *ant* **intrusion** вторжение; *геол.* интрузия *(внедрение в породу изверженной массы)*

fine - *a* тонкий, мелкий; мелкозернистый; высококачественный; тонкий; прекрасный, ясный (о *погоде);* изящный; **fine-graded (fine-grained)** мелкозернистый, тонкозернистый; **fines** - *n pl* мелочь; мелкий уголь

flow - v течь; литься; *n* течение; поток; **flow of lava** поток лавы
fragmentary - *a* обломочный, пластический
glass - *n* стекло; **glassy** - *a* гладкий, зеркальный; стеклянный
gold - *n* золото
inclined - *a* наклонный
mica - *n* слюда
permit - *v* позволять, разрешать; *syn* **allow, let; make possible**
probably - *adv* вероятно; *syn* **perhaps, maybe**
shallow - *a* мелкий; поверхностный; *ant* **deep** глубокий
sill - *n* силь, пластовая интрузия
stock - *n* шток, небольшой батолит
vein - *n* жила, прожилок, пропласток
band - *n* слой; полоса; прослоек *(породы); syn* **layer**
cleave - *v* расщепляться; трескаться, отделяться по кливажу; **cleavage** *n* кливаж
constituent - *n* составная часть, компонент
define - *v* определять, давать определение
distribute - v **(among)** распределять (между); раздавать;
disturb - *v* нарушать; смещать
excess - *n* избыток, излишек; *ant* **deficiency**
flaky - *a* слоистый; похожий на хлопья
fluid - *n* жидкость; жидкая или газообразная среда
foliate - *v* расщепляться на тонкие слои; **foliated** - *a* листоватый, тонкослоистый; *syn* **flaky**
marble - *n* мрамор
mention - *v* упоминать, ссылаться; *n* упоминание
plate - *n* пластина; полоса *(металла)*
pressure - *n* давление; **rock pressure (underground pressure)** горное давление, давление горных пород
relate - *v* относиться; иметь отношение; **related** *a* родственный; **relation** - *n* отношение; **relationship** - *n* родство; свойство; **relative** - *a* относительный; соответственный
run (ran, run) - *v* бегать, двигаться; течь; работать (о *машине);* тянуться, простираться; управлять *(машиной);* вести *(дело, предприятие)*
schistose - *a* сланцеватый; слоистый
sheet - *n* полоса
slate - *n* сланец; *syn* **shale**
split (split) - *v* раскалываться, расщепляться, трескаться; *syn* **cleave**
trace - *n* след; **tracing** – *n* прослеживание
at least по крайней мере
to give an opportunity (of) давать возможность *(кому-л., чему-л.)*
in such a way таким образом

Fossil Fuels

accumulate - v накапливать; скопляться
ancient - *a* древний, старинный; *ant* **modern**
associate - v связывать, соединять, ассоциироваться; *syn* **connect, link**
burn (burnt) - v сжигать; гореть; жечь
charcoal - *n* древесный уголь
convenient - *a* удобный, подходящий
crude - *a* сырой, неочищенный
dig (dug) - v добывать; копать; **digger** - n угольный экскаватор; землеройная машина
divide - v делить; (from) отделять; разделять
evidence - *n* доказательство; очевидность; признак(и)
fossil - *a* окаменелый, ископаемый; *n* ископаемое *(органического происхождения);* окаменелость

heat - v нагревать; *n* теплота

liquid - *a* жидкий; n жидкость; *ant* **solid**

manufacture - *v* изготовлять, производить; *syn* **produce**

mudstone - *n* аргиллит

purpose - *n* цель; намерение; *syn* **aim, goal**

shale - *n* глинистый сланец

the former … the latter - первый *(из вышеупомянутых)* последний *(из двух названных)*

bench - *n* слой, пачка *(пласта)*

blend - v смешивать(ся); вклинивать(ся)

combustion - *n* горение, сгорание; **spontaneous combustion** самовоспламенение, самовозгорание

continuity - *n* непрерывность, неразрывность

domestic - *a* внутренний; отечественный

estimate - v оценивать; *n* оценка; смета

fault - *n* разлом, сдвиг *(породы);* сброс; **faulting** *n* образование разрывов или сбросов

fold - *n* изгиб, складка, флексура; **foulding** - *n* складчатость, смешение *(пласта)* без разрыва

inflame - v воспламеняться; загорать(ся); **inflammable** - *a* воспламеняющийся, горючий, огнеопасный; **flame** - *n* пламя

intermediate - *a* промежуточный; вспомогательный

liable - *a* (to) подверженный; подлежащий *(чему-л.)*

luster - *n* блеск *(угля, металла);* **lustrous** - *a* блестящий

matter - *n* вещество; материя

moisture - *n* влажность, сырость; влага

parting - *n* прослоек

plane - *n* плоскость; **bedding plane** плоскость напластования

rank - *n* класс, тип; **coal rank** группа угля, тип угля

regular - *a* правильный; непрерывный; *ant* **irregular** неправильный; неравномерный; **regularity** *n* непрерывность; правильность

similar - *a* похожий, сходный; подобный; *syn* **alike, the same as**

smelt - v плавить *(руду);* выплавлять *(металл)*

store - v запасать, хранить на складе; вмещать

strata - *n pl от* **stratum** пласты породы; свита *(пластов);* формация, напластования породы; *syn* **measures**

thickness - *n* мощность *(пласта, жилы)*

uniform - *a* однородный; равномерный; **uniformity** *n* однородность; единообразие

utilize - v использовать; *syn* **use, apply, employ**

volatile - *a* летучий, быстро испаряющийся

Prospecting and Exploration

aerial - *a* воздушный; надземный

certain - *a* определенный; некоторый; **certainly** *adv* конечно

cost - (cost) v стоить; *n* цена; стоимость

crop - v (out) обнажать(ся), выходить на поверхность *(о пласте, породе); syn* **expose;** засевать, собирать урожай

dredging - *n* выемка грунта; драгирование

drill - v бурить, сверлить; *n* бурение, сверление; бурильный молоток; **drilling** - *n* бурение, сверление; **core-drilling** колонковое (керновое) бурение

drive (drore, **driven**) - v проходить *(горизонтальную выработку);* приводить в движение; управлять *(машиной); n* горизонтальная выработка; привод; передача

evidence – *n* основание; признак(и); свидетельства

expect - v ожидать; рассчитывать; думать; предлагать

explore - v разведывать месторождение полезного ископаемого с попутной добычей; **exploratory** - *a* разведочный; **exploration** - *n* детальная разведка; разведочные горные работы по месторождению

galena - *n* галенит, свинцовый блеск

indicate - v указывать, показывать; служить признаком; означать

lead - *n* свинец

look for - v искать

open up - v вскрывать *(месторождение);* нарезать *(новую лаву, забой);* **opening** - *n* горная выработка; подготовительная выработка; вскрытие месторождения

panning - *n* промывка *(золотоносного песка в лотке)*

processing - *n* обработка; - **industry** обрабатывающая промышленность

prove - v разведывать *(характер месторождения или залегания);* доказывать; испытывать, пробовать; **proved** - *a* разведанный, достоверный; **proving** - *n* опробование, предварительная разведка

search - v исследовать; (for) искать *(месторождение); n* поиск; *syn* **prospecting**

sign - *n* знак, символ; признак, примета

store - v хранить, накапливать *(о запасах)*

work - v работать; вынимать, извлекать *(уголь, руду);* вырабатывать; **workable** - *a* подходящий для работы, пригодный для разработки, рабочий *(о пласте);* рентабельный; **working** - *n* разработка, горная выработка

adit - *n* горизонтальная подземная выработка, штольня

angle - *n* угол

approximate - *a* приблизительный

bit - *n* режущий инструмент; буровая коронка, коронка для алмазного бурения; головка бура, сверло; **carbide bit** армированная коронка, армированный бур; **diamond bit** - алмазная буровая коронка

borehole - *n* скважина, буровая скважина

crosscut - *n* квершлаг

dip - *n* падение *(залежи);* уклон, откос; v падать

enable - v давать возможность или право *(что-л. сделать)*

exploit - v разрабатывать *(месторождение);* эксплуатировать; **exploitation** - *n* разработка; эксплуатация

measure - *n* мера; мерка; критерий; степень; *pl* свита, пласты; v измерять

overburden - *n* покрывающие породы, перекрывающие породы; верхние отложения, наносы; вскрыша

pit - *n* шахта; карьер, разрез; шурф

reliable - *a* надежный; достоверный

rig - *n* буровой станок, буровая вышка; буровая каретка; буровое оборудование

sample - *n* образец; проба; v отбирать образцы; опробовать, испытывать

section - *n* участок, секция, отделение, отрезок, разрез, профиль, поперечное сечение; **geological** ~ геологический разрез *(пород)*

sequence - *n* последовательность; порядок следования; ряд

sink (sank, sunk) - v проходить *(шахтный ствол, вертикальную выработку);* углублять; погружать; опускать; **sinking** - *n* проходка *(вертикальных или наклонных выработок);* **shaft sinking** - проходка ствола

slope - *n* наклон; склон; бремсберг; уклон; v клониться, иметь наклон; **sloping** - *a* наклонный; **gently sloping** - с небольшим наклоном

steep - *a* крутой, крутопадающий, наклонный

strike - *n зд.* простирание; v простираться; **across the strike** - вкрест простирания; **along (on) the strike** по простиранию

trench - *n* траншея, канава; котлован; v копать, рыть, шурфовать

to make use (of) использовать, применять

to take into consideration принимать во внимание; *syn* **take into account**

General Information on Mining

access - *n* доступ

affect - v воздействовать *(на что-л.);* влиять; *syn* **influence**

barren - *a* непродуктивный; пустой *(о породе)*

chute - *n* скат, спуск; углеспускная выработка; жёлоб

compare - v (with) сравнивать, проводить параллель

contribute - v способствовать, содействовать; делать вклад *(в науку);* **make a (one's) ~ to smth.** сделать вклад во что-л.

cross-section - *n* поперечное сечение, поперечный разрез, профиль

develop - v разрабатывать *(месторождение);* развивать *(добычу);* производить подготовительные работы; **development** - *n* подготовительные работы; развитие добычи; развитие

drift - *n* штрек, горизонтальная выработка

ensure - v обеспечивать, гарантировать; *syn* **guarantee**

face - *n* забой; лава

floor - л почва горной выработки, почва пласта (жилы); **quarry** ~ подошва карьера; пол, настил

govern - v править, управлять; руководить; определять, обусловливать

inclination - *n* уклон, скат, наклон *(пластов);* наклонение; **seam** ~ падение *(пласта);* наклон *(пласта)*

incline - *n* уклон, бремсберг, скат; наклонный ствол; **gravity** ~ бремсберг

inclined - *a* наклонный; **flatly** ~ слабо наклонный; **gently ~** наклонного падения; **medium** ~ умеренно наклонный *(о пластах);* **steeply** ~ крутопадающий

level - *n* этаж, горизонт, горизонтальная горная выработка; штольня; уровень *(инструмент);* нивелир; ватерпас; горизонтальная поверхность

recover - v извлекать *(целики);* выбирать, очищать; добывать *(уголь и т.п.);* восстанавливать

remove - v удалять; убирать; устранять; перемещать; **removal** - *n* вскрыша; выемка; уборка *(породы);* извлечение *(крепи);* перемещение; **overburden** - удаление вскрыши

rib - *n* ребро; выступ; узкий целик, предохранительный целик; грудь забоя

roof - *n* крыша; кровля выработки; кровля пласта *(или* жилы); перекрытие; ~ **support** - крепление кровли

shaft - *n* шахтный ствол; **auxiliary** ~ вспомогательный ствол; **hoisting** ~ подъемный ствол; главный шахтный ствол

tabular - *a* пластовый (о *месторождении);* пластообразный; плоский; линзообразный; *syn* **bedded, layered**

waste - *n* пустая порода; отходы; *syn* **barren rock**

well - *n* буровая скважина; колодец, источник; водоем; зумф

capital investment - капитальные вложения

gate road - промежуточный штрек

in bulk - навалом, в виде крупных кусков

metal-bearing - содержащий металл

production face/working - очистной забой

productive mining - эксплуатационные работы

in view of - ввиду чего-л., принимая во внимание что-л.

with a view to - с целью

advantage - *n* преимущество; превосходство; выгода; польза; **advantageous** - *a* выгодный; благоприятный, полезный; **to take advantage of smth** воспользоваться чём-л.

caving - *n* обрушение *(кровли);* разработка с обрушением

deliver - v доставлять, подавать; питать; нагнетать; произносить *(речь);* читать *(лекцию)*

entry - *n* штрек; выработка горизонтальная; *pl* подготовительные выработки; нарезные выработки; штреки

giant - *n* гидромонитор

gravity - *n* сила тяжести; вес, тяжесть; **by ~** самотеком, под действием собственного веса

haul - v доставлять; откатывать; подкатывать; перевозить; **haulage** - *n* откатка; доставка; транспортировка *(по горизонтали)*

longwall - *n* лава; выемка лавами; сплошной забой, сплошная или столбовая система разработки; *syn* **continuous mining; ~ advancing on the strike** выемка лавами прямым ходом по простиранию; сплошная система разработки по простиранию; **~ advancing to the rise** сплошная система разработки с выемкой по восстанию; ~ to **the dip** сплошная система разработки с выемкой по падению; ~ **retreating** выемка лавами обратным ходом; столбовая система разработки лавами

lose (lost) - v терять; **loss** - *n* потеря, убыток

pillar - *n* целик; столб; **shaft** ~ околоствольный целик; ~ **method** столбовая система разработки; ~ **mining** выемка целиков

predominate - v преобладать, превалировать; превосходить; господствовать, доминировать

protect - v охранять, защищать

reach - v простираться, доходить до; добиваться, достигать

satisfy - v удовлетворятъ(ся)

shield - *n* щит; ~ **method** щитовой метод проходки, щитовой способ

room - *n* камера; очистная камера; **room-and-pillar method** камерно-столбовая система разработки

stowing - *n* закладка *(выработанного пространства)*

method of working система разработки

the sequence of working the seams - последовательность отработки пластов

goaf — завал; обрушенное пространство

double-ended drum bearer — комбайн с двойным барабаном

to identify — опознавать

appraisal — оценка

susceptibility — чувствительность

concealed — скрытый, не выходящий на поверхность

crusher — дробилка

concentration — обогащение

blending — смешивание; составление шихты

screen — сортировать (обыден. уголь); просеивать

froth floatation — пенная флотация

core drilling — колонковое бурение

to delineate — обрисовывать, описывать

lender — заимодавец

feasibility — возможность

in situ mining — повторная разработка месторождения в массиве

screening — просеивание; грохочение

processing — обработка, разделение минералов

Mining and Environment

break v **(broke**, **broken**) отбивать *(уголь или породу),* обрушивать кровлю; разбивать; ломать; л отбойка, обрушение; **break out** отбивать, производить выемку

(руды .или породы); расширять забой; **breakage** л разрыхление, дробление

drill - *n* бур; .перфоратор; бурильный молоток; сверло; v бурить; car ~ буровая тележка; **mounted** ~ перфоратор на колонке; колонковый бурильный молоток; **drilling** - *n* бурение

dump -*n* отвал *(породы);* склад угля; опрокид; **external** ~ внешний отвал; **internal** ~ внутренний отвал; v сваливать (в *отвал);* разгружать; отваливать; опрокидывать *(вагонетку);*

dumper опрокид; самосвал; отвалообразователь; **dumping** л опрокидывание; опорожнение; опрокид; *syn* **tip**

environment - *n* окружение; окружающая обстановка/среда

explode - v взрывать, подрывать; **explosion** - *n* взрыв; **explosive** - *n* взрывчатое вещество; *a* взрывчатый

friable - *a* рыхлый; хрупкий; рассыпчатый; слабый (о *кровле)*

handle - v перегружать; доставлять; транспортировать; управлять машиной; *n* ручка; рукоять; скоба; **handling** - *n* подача; погрузка; перекидка, доставка; транспортировка; обращение с машиной

heap - v наваливать; нагребать; *n* породный отвал, терриконик; *syn* **spoil ~, waste ~**

hydraulicklng - *n* гидродобыча; гидромеханизированная разработка

load - v нагружать, грузить, наваливать; *n* груз; нагрузка; **loader** - *n* погрузочная машина, навалочная машина, перегружатель; грузчик; **cutter-loader** - комбайн, комбинированная горная машина

lorry - *n* грузовик; платформа; *syn* **truck**

mention - v упоминать

overcasting - *n* перелопачивание *(породы)*

pump - *n* насос; **gravel** ~ песковый насос; **sludge** ~ шламовый насос; v качать; накачивать; откачивать

reclamation - *n* восстановление; осушение; извлечение крепи; ~ **of land** восстановление участка *(после открытых работ)*

sidecastiag - *n* внешнее отвалообразование

site - *n* участок, место; **building** ~ строительная площадка

slice - *n* слой; **slicing** - *n* выемка слоями, разработка слоями

strip - v производить вскрышные работы; разрабатывать; очищать *(лаву);* вынимать породу или руду; *n* полоса; **stripper** - *n* забойщик; вскрышной экскаватор; **stripping** - *n* открытая разработка, открытые горные работы; вскрыша; вскрытие наносов

unit - *n* агрегат; установка; устройство; прибор; узел; секция; деталь; машина; механизм; единица измерения; участок

washery - *n* углемойка; рудомойка; моечный цех

to attract smb's attention привлекать чье-л. внимание

backhoe - *n* обратная лопата

blast - *n* взрыв; v взрывать; дуть; продувать; **blasting** - *n* взрывание; взрывные работы; взрывная отбойка

block out - v нарезать залежь на блоки; нарезать столбы

clearing - *n* выравнивание почвы; планировка грунта

crash - v дробить; разрушать; обрушать(ся)

earth-mover - *n* землеройное оборудование; *syn* **excavator**

excavator - *n* экскаватор; **bucket-wheel** - роторный экскаватор; **multi-bucket ~** многочерпаковый экскаватор; **single-bucket** - одночерпаковый экскаватор

grab - *n* грейфер, ковш, черпак; экскаватор; v захватывать;

grabbing - погрузка грейфером; захватывание

hoist - *n* подъемное установка (машина); подъемник; лебедка; v поднимать; **hoisting** шахтный подъем

plough - *n* струг

power shovel - *n* механическая лопата; экскаватор типа механической лопаты

range - *n* колебание в определенных пределах

rate - *n* норма; скорость, темп; коэффициент; степень; разрез; сорт; мощность; расход *(воды)*

remote - *a* отдаленный; ~ **control** дистанционное управление

result - v (in) приводить (к); иметь своим результатом; (from) следовать (из), происходить в результате

safety - *n* безопасность; техника безопасности

slope - *n* забой, сплошной забой, очистной забой; v очищать забой, вынимать породу, уголь; *syn* **face; sloping** очистные работы; очистная выемка; **open sloping** выемка с открытым забоем; **shrinkage sloping** выемка системой с магазинированием *(рудЫ)*

support - v крепить; поддерживать; подпирать; *n* стойка; опора; поддержание; крепление; *syn* **timbering; powered roof** - механизированная крепь; **self-advancing powered roof** - передвижная механизированная крепь

4.2 Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

My speciality is Geology

I am a first year student of the Ural State Mining University. I study at the geological faculty. The geological faculty trains geologic engineers in three specialities: mineral prospecting and exploration, hydrogeology and engineering geology, drilling technology.

Geology is the science which deals with the lithosphere of our planet. Geology studies the composition of the Earth's crust, its history, the origin of rocks, their distribution and many other problems.

That is why the science of geology is commonly divided into several branches, such as:

1. General Geology which deals with the composition arid the structure of the Earth and with various geological processes going on below the Earth’s surface and on its surface.
2. Petrology which studies the rocks of the Earth.
3. Mineralogy which investigates the natural chemical compounds of the lithosphere.
4. Paleontology which deals with fossil remains of ancient animals and plants found in rocks.
5. Historic Geology which treats of the Earth's history.
6. Structural Geology which deals with the arrangement of rocks due to the Earth's movements.
7. Economic Geology which deals with occurrence, origin and distribution of mineral deposits valuable to man.

All these branches of geology are closely related to each other.

Geology is of great practical importance because .it supplies industry with all kinds of raw materials, such as ore, coal, oil, building materials, etc.

Geology deals with the vital problem of water supply. Besides, many engineering projects, such as tunnels, canals, dams, irrigation systems, bridges etc. need geological knowledge in choosing construction sites and materials.

The practical importance of geology has greatly increased nowadays. It is necessary to provide a rapid growth of prospecting mineral deposits, such as ores of iron, copper, lead, uranium and others, as well as water and fossil fuels (oil, gas and coal). They are badly needed for further development of all the branches of the national Economy of our country and for creating a powerful economic foundation of the society. The graduates of the geological faculty of the Ural State Mining University work all over the country in mines, geological teams and expeditions of the Urals, Siberia, Kasakhstan, in the North and Far East, etc. as well as abroad.

Very often geologists have to work under hard climatic and geological conditions. They must be courageous, strong and purposeful people, ready to overcome any hardships which nature has put in their way to its underground treasure-house.

4.3 Систематизация грамматического материала:

1. Неличные формы глагола: инфинитив, причастия, герундий.
2. Основные сведения о сослагательном наклонении.

Инфинитив. The Infinitive

Инфинитив - это неличная глагольная форма, которая только называет действие и выполняет функции как глагола, так и существительного. Инфинитив отвечает на вопрос что делать?, что сделать?

Формальным признаком инфинитива является частица **to**, которая стоит перед ним, хотя в некоторых случаях она опускается. Отрицательная форма инфинитива образуется при помощи частицы not, которая ставится перед ним: It was difficult not to speak. *Было трудно не говорить.*

Формы инфинитива

	Active Voice	Passive Voice
Simple	to write	to be written
Continuous	to be writing	
Perfect	to have written	to have been written
Perfect Continuous	to have been writing	

Глаголы, после которых используется инфинитив:

to agree - соглашаться
to arrange - договариваться
to ask – (по)просить
to begin – начинать
to continue – продолжать
to decide – решать
to demand - требовать
to desire – желать
to expect – надеяться
to fail – не суметь
to forget – забывать
to hate - ненавидеть
to hesitate – не решаться
to hope - надеяться
to intend – намереваться
to like – любить, нравиться
to love – любить, желать
to manage - удаваться
to mean - намереваться
to prefer - предпочитать
to promise - обещать
to remember – помнить
to seem - казаться
to try – стараться, пытаться
to want – хотеть

Например:
He asked to change the ticket. *Он попросил поменять билет.*
She began to talk. *Она начала говорить.*

Значение разных форм инфинитива в таблице

Формы инфинитива	**Чему я рад?**	
Simple	I am glad **to speak** to you.	Рад поговорить с вами. (Всегда радуюсь, когда говорю с вами).
Continuous	I am glad **to be speaking** to you.	Рад, что сейчас разговариваю с вами.
Perfect	I am glad **to have spoken** to you.	Рад, что поговорил с вами.
Perfect Continuous	I am glad **to have been speaking** to you.	Рад, что уже давно (все это время) разговариваю с вами.
Simple Passive	I am (always) glad **to be told** the news.	Всегда рад, когда мне рассказывают новости.

Perfect Passive	I am glad **to have been told** the news.	Рад, что мне рассказали новости.

Причастие. Participle

В английском языке причастие — это неличная форма глагола, которая сочетает в себе признаки глагола, прилагательного и наречия.

Формы причастия

		Active (Активный залог)	Passive (Пассивный залог)
Participle I (Present Participle)	Simple	**writing**	**being written**
	Perfect	**having written**	**having been written**
Participle II (Past Participle)			**written**

Отрицательные формы причастия образуются с помощью частицы **not**, которая ставится перед причастием: not asking — не спрашивая,not broken — не разбитый.

Как переводить разные формы причастия на русский язык

Формы причастия	причастием	деепричастием
reading	читающий	читая
having read		прочитав
being read	читаемый	будучи читаемым
having been read		будучи прочитанным
read	прочитанный	
building	строящий	строя
having built		построив
being built	строящийся	будучи строящимся
having been built		будучи построенным
built	построенный	

Герундий. Gerund

Герундий — это неличная форма глагола, которая выражает название действия и сочетает в себе признаки глагола и существительного. Соответственно, на русский язык герундий обычно переводится существительным или глаголом (чаще неопределенной формой глагола). Формы, подобной английскому герундию, в русском языке нет.

My favourite occupation is reading. *Мое любимое занятие — чтение.*

Формы герундия

	Active (Активный залог)	Passive (Пассивный залог)
Simple	**writing**	**being written**
Perfect	**having written**	**having been written**

Запомните глаголы, после которых употребляется только герундий!

admit (признавать), advise (советовать), avoid (избегать),
burst out (разразиться), delay (задерживать), deny (отрицать),
dislike (не нравиться), enjoy (получать удовольствие), escape (вырваться, избавиться),
finish (закончить), forgive (прощать), give up (отказываться, бросать),
keep on (продолжать), mention (упоминать), mind (возражать - только в “?”и “-“),
miss (скучать), put off (отложить), postpone (откладывать),
recommend (рекомендовать), suggest (предлагать), understand (понимать).

Герундий после глаголов с предлогами

accuse of (обвинять в), agree to (соглашаться с), blame for (винить за),
complain of (жаловаться на), consist in (заключаться в), count on /upon (рассчитывать на),
congratulate on (поздравлять с), depend on (зависеть от), dream of (мечтать о),
feel like (хотеть, собираться), hear of (слышать о), insist on (настаивать на),

keep from (удерживать(ся) от), look forward to (с нетерпением ждать, предвкушать),
look like (выглядеть как), object to (возражать против),
persist in (упорно продолжать), praise for (хвалить за), prevent from (предотвращать от),
rely on (полагаться на), result in (приводить к), speak of, succeed in (преуспевать в),
suspect of (подозревать в), thank for (благодарить за), think of (думать о)

He has always dreamt of visiting other countries. — *Он всегда мечтал о том, чтобы побывать в других странах.*

to be + прилагательное / причастие + герундий

be afraid of (бояться чего-либо), be ashamed of (стыдиться чего-либо),
be engaged in (быть занятым чем-либо), be fond of (любить что-либо, увлекаться чем-либо),
be good at (быть способным к), be interested in (интересоваться чем-либо),
be pleased at (быть довольным), be proud of (гордиться чем-либо),
be responsible for (быть ответственным за), be sorry for (сожалеть о чем-либо),
be surprised at (удивляться чему-либо), be tired of (уставать от чего-либо),
be used to (привыкать к).

I'm tired of waiting. — *Я устал ждать.*

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Complete the sentences with the correct infinitive tense.

1 She has grown taller. She seems ...*to have grown taller*.
2 He is getting used to his new job. He appears
3 Kate makes friends easily. She tends
4 He has finished the report. He claims
5 It is raining over there. It seems
6 He is on a diet. He appears
7 They have sailed round the world. They claim
8 She is feeling better. She seems

2. Fill in the correct infinitive tense.

1 A: What would you like ...*to do*... (do) tonight?
B: Let's … (go) to an Italian restaurant.
2 A: What's Liz doing?
B: She seems … (look) for something in her bag.
3 A: Alan has been offered a new job!
B: No, he hasn't. He just pretended … (offer) a new job.
4 A: Colin claims … (meet) lots of famous people.
B: I know, but I don't believe him.
5 A: Look at those two men outside. What are they doing?
B: They appear … (empty) the rubbish bins.
6 A: Would you like to go to the cinema tonight?
B: Not really. I would prefer … (go) to the theatre.
7 A: Tara seems … (work) hard all morning.
B: Yes, she hasn't even stopped for a cup of coffee.
8 A: Why is Tom at work so early this morning?
B: He wants … (finish) early so that he can go to the concert tonight.

3. Rephrase the following sentences, as in the example.

1 He must wash the car. I want ...*him to wash the car*...
2 You mustn't be late for work. I don't want …
3 Claire must tidy her bedroom. I want …

4 She mustn't go to the disco. I don't want …
5 They must go to school tomorrow. I want …
6 Gary mustn't make so much noise. I don't want …
7 You mustn't make a mess. I don't want …
8 He must mend his bike. I want …

4. Complete the sentences with too or enough and the adjective in brackets.

1 A: Would you like to come to the disco?
B: Oh no. I'm ...*too tired*... to go to a disco, (tired)
2 A: Can you reach that top shelf?
B: No, I'm not … to reach it. (tall)
3 A: Did they go on a picnic yesterday?
B: No. It was … to go on a picnic, (cold)
4 A: Did Jane enjoy the horror film?
B: No. She was … to enjoy it. (scared)
5 A: Does Tom go to school?
B: No. He isn't … to go to school yet. (old)
6 A: Will you go to London by bus?
B: No. The bus is … . I'll take the train, (slow)
7 A: Did she like the dress you bought?
B: Yes, but it was … .(big)
8 A: Take a photograph of me!
B: I can't. It isn't … in here, (bright)

5. Rewrite the sentences using too.

1 This music is so slow that I can't dance to it.
...This music, is too slow for me to dance to…
2 The bird is so weak that it can't fly.
3 She's so busy that she can't come out with us.
4 The car was so expensive that he couldn't buy it.
5 These shoes are so small that they don't fit me.
6 The book is so boring that she can't read it.
7 I was so tired that I couldn't keep my eyes open.
8 The coffee was so strong that he couldn't drink it.

6. Underline the correct preposition and fill in the gaps with the -ing form of the verb in brackets.

1 He is ill. He is complaining **with/<u>about</u>** ...*having*... (have) a headache.
2 Marcus went out instead **for/of** … (do) his homework.
3 Tracy was very excited **with/about** … (go) to the party.
4 I hope you have a good excuse **of/for** … (be) so late.
5 Sam is interested **in/for** … (take up)French lessons.
6 You can't stop him **to/from** … (take)the job if he wants to.
7 Susie ran because she was worried **about/of** … (miss) the bus.
8 Thank you **to/for** … (help) me with my homework.
9 She felt tired because she wasn't used **to/with** … (work) so hard.
10 His boss blamed him **for/of** … (lose) the deal.
11 I am in charge **in/of** … (make) the Christmas deliveries.
12 We are thinking **of/from** … (buy) a new car next month.
13 Sandra apologised **for/about** … (ruin) the performance.
14 Ian was talking **with/about** … (open) a shop in York.

7. Put the verbs in brackets into the correct infinitive form or the -ing form.

1 It's no use ...*talking*… (talk) to Bob; he won't change his mind.
2 She will … (return) the books next weekend.
3 It was good of you … (help) me fix my bicycle.
4 The man suggested … (call) the police in, to investigate.
5 I can't get used to … (live) in such a hot country.
6 He admitted … (rob) the bank.
7 You had better … (hurry), or you'll be late for work.
8 They refused … (give) me my money back.
9 She is too short … (become) a fashion model.
10 My parents let me … (stay) up late at weekends.
11 Our teacher makes us … (do) homework every evening.
12 The kitchen windows need … (clean).
13 They have begun … (make) preparations for the party.
14 He advised her … (speak) to her boss.
15 I dislike … (go) to the theatre alone.
16 Mr. Roberts was seen … (leave) his house at 12:15 last night.
17 My sister can't stand … (watch) horror films. She gets terribly scared.
18 Can you imagine … (spend) your holidays on the moon?
19 There's no point in … (call) again. There's no one at home.
20 I don't allow people … (smoke) in my house.
21 It was silly of you … (forget) to lock the door.
22 He risks … (lose) his wallet when he leaves it on his desk.

8. Put the verbs in brackets into the correct infinitive form or the -ing form.

1 A: Is Anne in the room?
B: Yes. I can see her ...dancing... (dance) with her husband over there.
2 A: Did you see the robber?
B: Yes. I saw him … (get) into the car and drive away.
3 A: Is John here today?
B: Yes. I heard him … (talk) on the phone as I walked past his office.
4 A: Colin is good at speaking in public, isn't he?
B: Yes. I heard him … (make) a speech last month. It was excellent.
5 A: I walked past the sports centre today.
B: So did I, and I stopped for a moment to watch some boys … (play) football.
6 A: Your hair looks great today.
B: Thanks. I watched the hairdresser … (dry) it so I could learn how to do it myself.
7 A: That's a music school, isn't it?
B: That's right. I often hear the students … (sing) as I walk past.
8 A: Did you stay until the end of the contest?
B: Yes. I listened to the chairman … (announce) the results before I went home.
9 A: How do you know Tim is at home?
B: I saw him … (cut) the grass as I was driving home.
10 A: How do you know that man stole the watch?
B: I saw him … (put) it in his pocket and leave the shop without paying.

9. Put the verbs in brackets into the correct infinitive form or the -ing form.

1 I'll never forget ...*sailing*... (sail) down the Danube on that warm spring night last year.
2 Please don't forget … (pay) the bill.
3 John said he remembers … (buy) the newspaper, but now he can't find it.
4 Did you remember … (post) my letters today?
5 Gloria regrets … (shout) at her sister.
6 I regret … (inform) you that we cannot give you your money back.

7 The students went on … (write) for another hour.
8 After cleaning the windows, he went on … (wash) the car.
9 We are sorry … (announce) that the 7:15 train to Liverpool has been cancelled.
10 I'm sorry for … (miss) your birth day party; I'll make it up to you.
11 She stopped … (go) to the gym after she had got back into shape.
12 They stopped … (have) a rest before they continued their journey.
13 They tried … (open) the door, but it was stuck.
14 You should try … (make) your own clothes. It's much cheaper.
15 I'm sorry. I didn't mean … (break) your vase.
16 Being a teacher means … (correct) a lot of homework.
17 I like … (tidy) my room at week ends because I don't have time during the week.
18 They like … (play) in the sea on hot days.

10. Put the verbs in brackets into the correct infinitive form or the -ing form.

My neighbour, Mr. Mason, loves 1) …*spending*… (spend) time in his garden. He would rather 2) … (work) outside than stay indoors, even when it is snowing! Early in the morning, you can 3) … (see) Mr. Mason 4) … (eat) breakfast in his garden, and late at night he is there again, with a cup of cocoa in his hand. I'd like 5) … (help) sometimes when there is lots of work to do, but Mr. Mason prefers 6) … (do) everything himself. He doesn't mind 7) … (get) cold and wet in the winter, and his wife says it's no use 8) … (try) to make him wear a waterproof jacket because he hates 9) … (wear) them! Mr. Mason says he will go on 10) … (garden) until he is too old 11) … (do) it!

Основные сведения о сослагательном наклонении

Conditionals are clauses introduced with if. There are three types of conditional clause: Type 1, Type 2 and Type 3. There is also another common type, Type 0.

Type 0 Conditionals: They are used to express something which is always true. We can use when (whenever) instead of it. *If/When the sun shines, snow melts.*

Type 1 Conditionals: They are used to express real or very probable situations in the present or future. *If he doesn't study hard, he won't pass his exam.*

Type 2 Conditionals: They are used to express imaginary situations which are contrary to facts in the present and, therefore, are unlikely to happen in the present or future. *Bob is daydreaming. If I won the lottery, I would buy an expensive car and I would go on holiday to a tropical island next summer.*

Type 3 Conditionals: They are used to express imaginary situations which are contrary to facts in the past. They are also used to express regrets or criticism. *John got up late, so he missed the bus. If John hadn't got up late, he wouldn't have missed the bus.*

	If-clause (hypothesis)	Main clause (result)	Use
Type 0 general truth	if + present simple	present simple	something which is always true
	If the temperature falls below 0 °C, water turns into ice.		
Type 1 real present	if + present simple, present continuous, present perfect or present perfect continuous	future/imperative can/may/might/must/should/ could + bare infinitive	real - likely to happen in the present or future
	If he doesn't pay the fine, he will go to prison. If you need help, come and see me. If you have finished your work, we can have a break. If you're ever in the area, you should come and visit us.		
Type 2 unreal present	if + past simple or past continuous	would/could/might + bare infinitive	imaginary situation contrary

			to facts in the present; also used to give advice
	If I had time, I would take up a sport. (but I don't have time - untrue in the present) If I were you, I would talk to my parents about it. (giving advice)		
Type 3 unreal past	if + past perfect or past perfect continuous	would/could/might + have + past participle	imaginary situation contrary to facts in the past; also used to express regrets or criticism
	If she had studied harder, she would have passed the test. If he hadn't been acting so foolishly, he wouldn't have been punished.		

Conditional clauses consist of two parts: the if -clause (hypothesis) and the main clause (result). When the if - clause comes before the main clause, the two clauses are separated with a comma. When the main clause comes before the if - clause, then no comma is necessary.

e.g. a) If I see Tim, I'll give him his book.

b) I'll give Tim his book if I see him.

We do not normally use will, would or should in an if - clause. However, we can use will or would after if to make a polite request or express insistence or uncertainty (usually with expressions such as / don't know, I doubt, I wonder, etc.).

We can use should after if to talk about something which is possible, but not very likely to happen.

e.g. a) If the weather is fine tomorrow, will go camping. (NOT: If the weather will be fine...)

b) If you will fill in this form, I'll process your application. (Will you please fill in... - polite request)

c) If you will not stop shouting, you'll have to leave. (If you insist on shouting... - insistence)

d) I don't know if he will pass his exams, (uncertainty)

e) If Tom should call, tell him I'll be late. (We do not think that Tom is very likely to call.)

We can use unless instead of if... not in the if -clause of Type 1 conditionals. The verb is always in the affirmative after unless.

e.g. Unless you leave now, you'll miss the bus. (If you don't leave now, you'll miss the bus.) (NOT: Unless you don't leave now, ...)

We can use were instead of was for all persons in the if - clause of Type 2 conditionals.

e.g. If Rick was/were here, we could have a party.

We use If I were you ... when we want to give advice.

e.g. If I were you, I wouldn't complain about it.

The following expressions can be used instead of if: provided/providing that, as long as, suppose/supposing, etc.

e.g. a) You can see Mr. Carter provided you have an appointment. (If you have an appointment...)

b) We will all have dinner together providing Mary comes on time. (... if Mary comes ...)

c) Suppose/Supposing the boss came now, …

We can omit if in the if - clause. When if is omitted, should (Type 1), were (Type 2), had (Type 3) and the subject are inverted.

e.g. a) Should Peter come, tell him to wait. (If Peter should come,...)

b) Were I you, I wouldn't trust him. (If I were you, ...)

c) Had he known, he would have called. (If he had known, ...)

Выполните упражнения на закрепление материала:

1. Look at the prompts and make Type 1 conditional sentences, as in the example.
e.g. If we cut down all the forests, the world's climate will change.
1 cut down/ all forests / world's climate / change
2 not stop/use / aerosols /destroy / ozone layer
3 find / alternative sources of energy / solve / some of our environmental problems
4 temperatures / go up / by a few degrees /sea levels / rise
5 recycle / waste / save / natural resources
6 population / continue to increase / not be enough food for everyone

2. Lisa is trying to decide where to go on holiday. She would like to go to one of these places. In pairs, ask and answer questions using the prompts below, as in the example.
A) SPAIN FOR A WEEK
£180 Inclusive!!
2-star hotel beach
Free water sports

B) A TWO WEEK CAMPING HOLIDAY IN THE SOUTH OF FRANCE
ONLY £280 per person
Self-catering

1. How long / be away / choose / Spain?
SA: How long will she be away if she chooses Spain?
SB: If she chooses Spain, she'll be away for a week.
2. Where / go / like / camping?
3. How much / pay / go to / France?
4. What / do / go to / Spain?
5. Where / go / want / cheap holiday?

3. Study the situations, then make Type 2 conditional sentences, as in the example.
I don't have a car, so I have to wait for the bus every day.
1. If I ...had... (have) a car, I ...wouldn't have to... (not/have to) wait for the bus every day.
I never do my homework, so my teacher always gets angry with me.
2. If I … (do) my homework, my teacher … (not/get) angry with me.
I live in a small house, so I can't invite friends over.
3. If I … (live) in a bigger house, I … (be able to) invite friends over.
I never get up early, so I y am always late for school.
4. If I … (get up) earlier, I … (not/be) late for school.

4. Complete the sentences to make Type 3 conditional sentences, as in the example.
1. If he ...hadn't noticed... (not/notice) the mould in one of his glass dishes, Alexander Fleming ...would never have discovered... (never/discover) penicillin.
2. If he … (sell) some of his paintings, Van Gogh … (get) some recognition during his lifetime.
3. If Barbara Streisand … (change) the shape of her nose, her career … (never/be) the same.
4. If Anne Sullivan … (not/teach) her, Helen Keller … (not/be able to) communicate.
5. If Naomi Campbell … (not/be) so beautiful, she … (never/become) a supermodel.

5. Read the story below and make Type 3 conditional sentences, as in the example.
e.g. 1) ...if Sally hadn't been in a hurry, she would nave left some important notes at home....
Sally had a terrible day yesterday. She was in a hurry, so she left some important notes at home. She wasn't prepared for her meeting with a new client, so the meeting was a disaster. The client was

disappointed, and as a result he refused to do business with the company. The boss shouted at Sally, so she got upset.

6. Match the items in column A with those in column B in order to make correct Type 0 conditional sentences, as in the example.

e.g. 1 - c ...if you add sugar to a cup of coffee, the coffee tastes sweeter...

A

1. Add sugar to a cup of coffee.
2. Throw salt onto snow.
3. Put an apple in a bowl of water.
4. Water plants regularly.
5. Lie in the sun too long.
6. Take regular exercise.

B

a The apple floats.
b Your skin turns red.
c The coffee tastes sweeter.
d You feel healthy.
e The plants grow.
f The snow melts.

7. Put the verbs in brackets into the correct tense.

1 A: What time will you be home tonight?
B: I'm not sure. If I ...have to... (have to) work late. I ...'ll call... (call) you.
2 A: I felt very tired at work today.
B: Well, if you … (not/watch) the late film, you … (not/feel) so tired
3 A: Should I buy that car?
B: Why not? If I … (have) the money, I … (buy) it myself.
4 A: If you … (pass) a chemist's, … (you/get) me some cough medicine?
B: Yes, certainly.
5 A: My sister seems very upset at the moment.
B: Were I you, I … (talk) to her about it.
6 A: Unless you … (hurry), you … (be) late again.
B: No, I won't. There's plenty of time.
7 A: Oh! I forgot to ask Sarah over for dinner.
B: If I … (speak) to her today, I … (ask) her for you.
8 A: May I join the club, please?
B: Provided you … (be) over eighteen, you can join the club.
9 A: What a lovely restaurant! I'm glad we came here.
B: If you … (not/burn) the dinner, we … (not/come) here!
10 A: Just think. If I … (not/move) to York, I … (never/meet) you.
B: I know, wasn't it lucky?
11 A: Jo doesn't spend enough time with me.
B: Well, if she … (have) the time, I'm sure she … (try), but she's very busy.
12 A: Did you give Bill the message?
B: No, but when I … (see) him, I … (tell) him the news.

8. Choose the correct answer.

1 'If you ...C... that plate, you'll burn your fingers.'

'Why? Has it been in the oven?'
A would touch
B will touch
C touch
2 ‘ … you're busy, we'll talk now.'
‘That's fine. I'm not busy at the moment.'
A If
B Provided
C Unless
3 'If you watch the news, you … a lot.'
'I know. I watch it every day.'
A learn
B were learning
C would learn
4 '… you wear warm clothes, you won't get cold.'
'I'll wear an extra jumper.'
A Unless
B Providing
C Supposing
5 'Shall I invite John to the party?'
'Well, were I you, I … him.'
A would invite
B will invite
C am inviting
6 '… the teacher comes back now, what will you do?'
'I don't know.'
A When
B Providing
C Supposing
7 'Could I see the menu, please?'
'Yes, sir. If you … a seat, I will fetch it for you.'
A take
B had taken
C have taken
8 'Don't cry. Everything will be alright.'
'Yes, but if I … the bus, I wouldn't have been late for school.'
A didn't miss
B hadn't missed
C don't miss
9 'When water boils, it … steam.'
'Yes, I know; and the steam is hot, too.'
A would produce
B produce
C produces
10 'Can you help me, please?'
'Well, if I wasn't studying, I … you.'
A would help
B help
C will help
11 'John crashed his car yesterday.'
'I know, but if he hadn't been changing the cassette, he …'
A won't crash

B wouldn't crash
C wouldn't have crashed
12 'Can I have some chocolate, please?'
'If you behave yourself, I you some later.'
A would buy
B might buy
C buy
13 'Should you see Colin … and tell me.'
'I will.'
A come
B to come
C will come
14 'If we were rich, we … expensive clothes.'
'Well, unfortunately we aren't rich!'
A could afford
B can afford
C afford

9. Put the verbs in brackets into the correct tense.

1 If I ...were... (be) you, I wouldn't drive in the snow.
2 Peter … (be able to) help you if he was here.
3 If I had closed the window, the cat … (not/jump) out.
4 I … (call) for help if I got stuck in a lift.
5 Had I known him, I … (talk) to him.
6 John … (may/lose) his job if he is rude to the boss.
7 If you … (save) some money, you would have been able to go on holiday last year.
8 You may win if you … (take) part in the contest.
9 If I had toothache, I … (go) to the dentist.
10 They would have helped us move house if we … (ask) them.
11 If Jane … (be) older, she could live by herself.
12 We would have changed our plans if we … (hear) the weather forecast.
13 Emma … (send) a card if she had remembered it was their anniversary.
14 Robert … (feel) better if you talked to him.
15 If Sam was still living nearby, you … (can/invite) him for dinner.
16 If you … (put) your money in your wallet, you will not lose it.
17 If you … (like) chocolate, you will love this cake.
18 If Bill … (come) home early, he will eat dinner with us.
19 Sandra will join us later unless she … (have) a lot of work to do.

10. Fill in the gaps using when or if.

1 A: Have you phoned Paul yet?
B: No, I'll phone him ...when... I get home.
2 A: … I get a new job soon, I may have a party.
B: That's a good idea.
3 A: I really liked that dress we saw.
B: Well, you can buy it … you get paid.
4 A: Shall we go somewhere this weekend?
B: Yes … it's sunny, we could go to the beach.
5 A: Did you make this cake yourself?
B: Yes … you like it, I'll give you the recipe.
6 A: Is Jane still asleep?
B: Yes … she wakes up, I'll tell her you're here.

7 A: Have you done your homework?
B: No. I'll do it … we've finished dinner.
8 A: We've run out of milk.
B: Well, … I go to the shops, I'll buy some more.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу
_____ С.А.Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Б1.О.03 ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК

Направление
15.03.06 Мехатроника и робототехника

Профиль
Мехатроника и робототехника промышленных производств

Автор: Безбородова С. А., к.п.н.

Одобрена на заседании кафедры

Иностранных языков и деловой коммуникации
(название кафедры)

Зав. кафедрой _____
(подпись)

Юсупова Л. Г.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 19.09.2023
(Дата)

Рассмотрена методической комиссией

горно-механического факультета
(название факультета)

Председатель _____
(подпись)

Осипов П.А.
(Фамилия И.О.)

Протокол № 2 от 20.10.2023
(Дата)

Екатеринбург

СОДЕРЖАНИЕ

I. Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям……... 3
1.1 Повторение материала практических занятий……..... 3
1.2 Чтение и перевод учебных текстов……. 42
1.3 Подготовка к практическим занятиям (запоминание иноязычных лексических единиц и грамматических конструкций) ..……..... 60
1.4 Самостоятельное изучение тем курса (для заочной формы обучения) ……. 73
1.5 Подготовка к контрольной работе 73

II. Другие виды самостоятельной работы……. 73
2.1 Выполнение самостоятельного письменного домашнего задания:
2.1.1 Подготовка к ролевой игре…….... 73
2.1.2 Подготовка к практико-ориентированному заданию ……. 74
2.1.3 Подготовка к опросу …… 75
2.2 Дополнительное чтение профессионально ориентированных текстов и выполнение заданий на проверку понимания прочитанного……. 75
2.3 Подготовка доклада…….. 94
2.4 Подготовка к тесту……..... 95
2.5 Подготовка к экзамену…….. 99

I. Самостоятельная работа, обеспечивающая подготовку к аудиторным занятиям

1. Повторение материала практических занятий

Практические занятия направлены на развитие умений иноязычного говорения в рамках заданных РПД тем: бытовая сфера общения (Я и моя семья); учебно-познавательная сфера общения (Я и мое образование); социально-культурная сфера общения (Я и моя страна. Я и мир); профессиональная сфера общения (Я и моя будущая специальность).

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

My family

My name is Vladimir Petrov. I am … years old. I was born in 19… in Nizhniy Tagil. I went to school when I was 7. In 20… I finished school number 10 in Ekaterinburg. This year I entered the Ural State Mining University. In five years I shall graduate from this University.

I live in the center of Ekaterinburg. I work at the Ministry of Foreign Trade. I'm an engineer & I am also a student. Many engineers in our Ministry learn foreign languages.

My family is not large. I have a wife & two children. My wife's name is Ann & children's names are Nick & Natalie.

My wife is an economist. My wife is a young woman. She is twenty – nine years old. She works at the Ministry of Foreign Trade, too. She goes to the office every day. My wife doesn't learn English. She already knows English very well. She reads many English books, magazines & newspapers. My wife is also a student. She learns German. She likes languages very much & is going to learn French next year.

My daughter is a girl of ten. She goes to school. She has a lot of subjects at school. She also learns English. She also helps her mother at home.

My son is a little boy. He was born five years ago. I take him to the kindergarten every morning.

My parents are not old. My father is 53. He is an engineer. He graduated from The Ural Polytechnical Institute. He works at a big plant. My mother is 51. She is a teacher. She teaches Russian at school. She graduated from the Leningrad Teachers' Training University.

My sister's name is Katya. She works at an office. Besides she studies at an Evening Department. She is married. Her husband is a doctor. He works at a hospital. They have a little son. He is only six months old.

My elder brother, Boris by name, does not stay with us. He lives in Gorky in a large two-roomed flat. He is a designer. He has also a family of his own. He has a wife & two children: a boy & a girl. Their son is already a pupil. My brother & his family often come to see us. We also visit them sometimes.

I also have a grandfather & a grandmother. They are pensioners. My grandmother looks after the house & does the cooking. We usually take our children to the country in summer to stay with their grandparents. They love their grandchildren very much.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

My student's life

I'm a student of The Ural State Mining University. I have been a student only one month. I can't speak English very well yet. I am just a beginner. I live in a hostel. It is rather a long way from the University. In fact, it takes me about an hour to get to the University. But it gives me no trouble at all, as I like to get up early. I don't need an alarm-clock to wake me up. I am an early - riser.

Though the hostel is far from the University it is very comfortable & has all modern conveniences.

As a rule I get up at 6.30, do morning exercises & have shower. I don't have a bath in the morning; I have a bath before I go to bed.

For breakfast I have a boiled egg & a cup of coffee in order not to waste the time. At about 7.30 I am quite ready to go. It is about 5 minutes walk from the hostel to the stop. I usually take the 7.40. bus. I walk to the stop as I have plenty of time to catch my bus.

I come to the University 5 minutes before the lesson begins. So I can have a chat with my friends. The majority of my group mates are from Ekaterinburg the others either come from different towns of our country. We usually have a lot of things to talk about.

We don't go out to the lunch. There is a good canteen at the University. It is on the ground floor. But I should say that you have to stand in a queue to have lunch.

I come to the hostel from the University at about 3 o'clock. I live in a single room & have nobody to speak with. In the evening I sometimes go out with my friends. We go to the cinema if there is something new or to the club if there is a dancing party there. But often I stay in, watch TV programs or listen to the music. Then I read a book for half an hour or so & go to sleep. That doesn't take me long, as a rule.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

Ekaterinburg – an Industrial Centre

Ekaterinburg is one of the leading industrial centres of Russia. There are over 200 industrial enterprises of all-Russia importance in it. The key industry is machine-building. The plants of our city produce walking excavators, electric motors, turbines, various equipment for industrial enterprises.

During the Great Patriotic War Sverdlovsk plants supplied the front with arms and munitions and delivered various machinery for restoration of Donbass collieries and industrial enterprises of the Ukraine.

The biggest plants of our city are the Urals Heavy Machine Building Plant (the Uralmash), the Urals Electrical Engineering Plant (Uralelectrotyazhmash), the Torbomotorny Works (TMZ), the Chemical Machinery Building Works (Chimmash), the Verkh Iset Metallurgical Works (VIZ) and many others.

The Urals Heavy Machinery Building Plant was built in the years of the first five-year plan period. It has begun to turn out production in 1933. The machines and equipment produced by the Uralmash have laid the foundation for the home iron and steel, mining and oil industries. The plant produces walking excavators and draglines, drilling rigs for boring super-deep holes, crushing and milling equipment for concentrators. The plant also produces rolling-mills, highly efficient equipment for blast furnaces, powerful hydraulic presses and other machines. The trade mark of the Uralmash is well-known all over the world.

The Electrical Engineering plant was put into operation in 1934. At the present time it is a great complex of heavy electrical machine-building. It produces powerful hydrogenerators, transformers, air and oil switches, rectifiers & other electrical equipment. Besides, it is one of the main producers of high-voltage machinery.

The Turbo-Motorny Works produces turbines & diesel motors for powerful trucks. The turbines manufactured by this plant are widely known not only in our country, but also abroad. The plant turned out its first turbines in 1941.

The Urals Chemical Works, the greatest plant in the country, produces machinery for the chemical industry. It also produces vacuum- filters used in different branches of oil industry.

The Verkh-Iset Metallurgical Works the oldest industrial enterprise in Ekaterinburg is now the chief producer of high grade transformer steel in the country.

Now complex mechanization & automation of production processes are being used at all industrial enterprises of Ekaterinburg. Its plants make great contribution to the development of our country's national economy.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland

The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland (the UK) occupies most of the territory of the British Isles. It consists of four main parts: England, Scotland, Wales and Northern

Ireland. London is the capital of England. Edinburgh is the capital of Scotland, Cardiff— of Wales and Belfast — of Northern Ireland. The UK is a small country with an area of some 244,100 square kilometres. It occupies only 0.2 per cent of the world's land surface. It is washed by the Atlantic Ocean in the north-west, north and south-west and separated from Europe by the Severn, but the most important waterway is the Thames.

The climate is moderate and mild. But the weather is very changeable. The population of the United Kingdom is over 57 million people. Foreigners often call British people "English", but the Scots, the Irish and the Welsh do not consider themselves to be English. The English are Anglo-Saxon in origin, but the Welsh, the Scots and the Irish are Celts, descendants of the ancient people, who crossed over from Europe centuries before the Norman Invasion. It was this people, whom the Germanic Angles and Saxons conquered in the 5th and 6th centuries AD. These Germanic conquerors gave England its name — "Angle" land. They were conquered in their turn by the Norman French, when William the Conqueror of Normandy landed near Hastings in 1066. It was from the union of Norman conquerors and the defeated Anglo-Saxons that the English people and the English language were born. The official language of the United Kingdom is English. But in western Scotland some people still speak Gaelic, and in northern and central parts of Wales people often speak Welsh.

The UK is a highly developed industrial country. It is known as one of the world’s largest producers and exporters of machinery, electronics, textile, aircraft, and navigation equipment. One of the chief industries of the country is shipbuilding.

The UK is a constitutional monarchy. In law, Head of the State is Queen. In practice, the country is ruled by the elected government with the Prime Minister at the head. The British Parliament consists of two chambers: the House of Lords and the House of Commons. There are three main political parties in Great Britain: the Labour, the Conservative and the Liberal parties. The flag of the United Kingdom, known as the Union Jack, is made up of three crosses. The big red cross is the cross of Saint George, the patron saint of England. The white cross is the cross of Saint Andrew, the patron saint of Scotland. The red diagonal cross is the cross of Saint Patrick, the patron saint of Ireland.

The United Kingdom has a long and exciting history and a lot of traditions and customs. The favorite topic of conversation is weather. The English like to drink tea at 5 o’clock. There are a lot of high daysin Great Britain. They celebrate Good Friday, Christmastide, Christmas, Valentine`s day and many others. It is considered this nation is the most conservative in Europe because people attach greater importance to traditions; they are proud of them and keep them up. The best examples are their money system, queen, their measures and weights. The English never throw away old things and don’t like to have changes.

Great Britain is a country of strong attraction for tourists. There are both ancient and modern monuments. For example: Hadrian Wall and Stonehenge, York Cathedral and Durham castle. It is no doubt London is the most popular place for visiting because there are a lot of sightseeing like the Houses of Parliament, Buckingham Palace, London Bridge, St Paul’s Cathedral, Westminster Abbey, the Tower of London. Also you can see the famous Tower Clock Big Ben which is considered to be the symbol of London. Big Ben strikes every quarter of an hour. You will definitely admire Buckingham Palace. It’s the residence of the royal family. The capital is famous for its beautiful parks: Hyde Park, Regent’s Park. The last one is the home of London Zoo.

Подготовьте устный рассказ по теме на основе предложенного:

My speciality is Geology

I am a first year student of the Ural State Mining University. I study at the geological faculty. The geological faculty trains geologic engineers in three specialities: mineral prospecting and exploration, hydrogeology and engineering geology, drilling technology.

Geology is the science which deals with the lithosphere of our planet. Geology studies the composition of the Earth's crust, its history, the origin of rocks, their distribution and many other problems.

That is why the science of geology is commonly divided into several branches, such as:

1. General Geology which deals with the composition arid the structure of the Earth and with various geological processes going on below the Earth’s surface and on its surface.

2. Petrology which studies the rocks of the Earth.

3. Mineralogy which investigates the natural chemical compounds of the lithosphere.

4. Paleontology which deals with fossil remains of ancient animals and plants found in rocks.

5. Historic Geology which treats of the Earth's history.

6. Structural Geology which deals with the arrangement of rocks due to the Earth's movements.

7. Economic Geology which deals with occurrence, origin and distribution of mineral deposits valuable to man.

All these branches of geology are closely related to each other.

Geology is of great practical importance because .it supplies industry with all kinds of raw materials, such as ore, coal, oil, building materials, etc.

Geology deals with the vital problem of water supply. Besides, many engineering projects, such as tunnels, canals, dams, irrigation systems, bridges etc. need geological knowledge in choosing construction sites and materials.

The practical importance of geology has greatly increased nowadays. It is necessary to provide a rapid growth of prospecting mineral deposits, such as ores of iron, copper, lead, uranium and others, as well as water and fossil fuels (oil, gas and coal). They are badly needed for further development of all the branches of the national Economy of our country and for creating a powerful economic foundation of the society. The graduates of the geological faculty of the Ural State Mining University work all over the country in mines, geological teams and expeditions of the Urals, Siberia, Kasakhstan, in the North and Far East, etc. as well as abroad.

Very often geologists have to work under hard climatic and geological conditions. They must be courageous, strong and purposeful people, ready to overcome any hardships which nature has put in their way to its underground treasure-house.

Практические занятия направлены также на формирование грамматического навыка по темам: порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях, порядок слов в вопросительном предложении, безличные предложения, местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные), имя существительное, артикли (определенный, неопределенный, нулевой), функции и спряжение глаголов *to be* и *to have, о*борот *there+be,* имя прилагательное и наречие, степени сравнения, сравнительные конструкции, имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат), образование видовременных форм глагола в активном залоге.

Распределение выше указанных тем в учебнике:

- Агабекян И. П. Английский язык для бакалавров: учебное пособие для студентов вузов / И. П. Агабекян. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. - 384 с.: ил. - (Высшее образование) (200 экз. в библиотеке УГГУ) и учебнике:

- Журавлева Р.И. Английский язык: учебник: для студентов горно-геологических специальностей вузов / Р. И. Журавлева. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. - 508 с. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 502 (192 экз. в библиотеке УГГУ) представлено в таблице №1:

Таблица №1

Название темы	***Страницы учебников***	
	Агабекян И. П.	*Журавлева Р.И.*
Порядок слов в повествовательном и побудительном предложениях	148	9
Порядок слов в вопросительном предложении	163-170	10, 24
Безличные предложения	149	440
Местоимения (указательные, личные, возвратно-усилительные, вопросительные, относительные, неопределенные)	41-55	101, 439
Имя существительное	66-78	435

Артикли (определенный, неопределенный, нулевой)	78-84	433
Функции и спряжение глаголов *to be* и *to have*	102-104	6-8
Оборот *there+be*	105-107	100
Имя прилагательное и наречие	115	83
Степени сравнения, сравнительные конструкции	115-121	143
Имя числительное (количественные и порядковые; чтение дат)	261-271	-
Образование видовременных форм глагола в активном залоге	193-209	10, 36, 69

Повторите материал практических занятий!

Порядок слов в английском предложении

В русском языке, благодаря наличию падёжных окончаний, мы можем переставлять члены предложения, не меняя основного смысла высказывания. Например, предложения Студенты изучают эти планы и Эти планы изучают студенты совпадают по своему основному смыслу. Подлежащее в обоих случаях - студенты, хотя в первом предложении это слово стоит на первом месте, а во втором предложении - на последнем.

По-английски такие перестановки невозможны. Возьмём предложение The students study these plans Студенты изучают эти планы. Если подлежащее и дополнение поменяются местами, то получится бессмыслица: These plans study the students Эти планы изучают студентов. Произошло это потому, что слово plans, попав на первое место, стало подлежащим.

Английское предложение имеет твёрдый порядок слов.

Порядок слов в английском предложении показан в этой таблице:

I	**II**	**III Дополнение**			**IV Обстоятельство**
Подлежащее	**Сказуемое**	**Косвенное без предлога**	**Прямое**	**Косвенное с предлогом**	
We Мы	study изучаем		math математику		
He Он	gives дает	us нам	lessons уроки		in this room. в этой комнате
She Она	reads читает		her notes свои заметки	to Peter Петру	every day. каждый день

Вопросительное предложение

Общее правило построения вопросов в английском языке таково: Все вопросы (кроме специальных вопросов к подлежащему предложения) строятся путем инверсии. Инверсией называется нарушение обычного порядка слов в английском предложении, когда сказуемое следует за подлежащим.

В тех случаях, когда сказуемое предложения образовано без вспомогательных глаголов (в Present и Past Indefinite) используется вспомогательный глагол to do в требуемой форме - do/does/did.

Общие вопросы

Общий вопрос задается с целью получить подтверждение или отрицание высказанной в вопросе мысли. На общий вопрос обычно дается краткий ответ: "да" или "нет".

Для построения общего вопроса вспомогательный или модальный глагол, входящий в состав сказуемого, ставится в начале предложения перед подлежащим.

а) Примеры сказуемого с одним вспомогательным глаголом: Is he speaking to the teacher? - Он говорит с учителем?

б) Примеры сказуемого с несколькими вспомогательными глаголами:

You will be writing letters to us. – Ты будешь писать нам письма.
Will you be writing letters to us? – Будешь ли ты писать нам письма?
Примеры с модальными глаголами:
She can drive a car. – Она умеет водить машину.
Can she drive a car? - Она умеет водить машину? (Yes, she can.; No, she cannot)

Когда в составе сказуемого нет вспомогательного глагола (т.е. когда сказуемое выражено глаголом в Present или Past Indefinite), то перед подлежащим ставятся соответственно формы do / does или did; смысловой же глагол ставится в форме инфинитива без to (словарная форма) после подлежащего.

С появлением вспомогательного глагола do на него переходит вся грамматическая нагрузка - время, лицо, число: в Present Indefinite в 3-м лице ед. числа окончание -s, -es смыслового глагола переходит на глагол do, превращая его в does; а в Past Indefinite окончание прошедшего времени -ed переходит на do, превращая его в did.
Do you go to school? – Ходишь ли ты в школу?
Do you speak English well? - Ты хорошо говоришь по-английски?

Ответы на общие вопросы

Общий вопрос требует краткого ответа "да" или "нет", которые в английском языке образуются следующим образом:

а) Положительный состоит из слова Yes за которым (после запятой) идет подлежащее, выраженное личным местоимением в им. падеже (никогда не используется существительное) и тот вспомогательный или модальный глагол, который использовался в вопросе (вспомогательный глагол согласуется с местоимением ответа);

б) Отрицательный ответ состоит из слова No, личного местоимения и вспомогательного (или модального) глагола с последующей частицей not
Например: Are you a student? - Ты студент?
Yes, I am. - Да.; No, I am not. - Нет.
Do you know him? – Ты знаешь его?
Yes, I do. – Да (знаю).; No, I don't. – Нет (не знаю).

Специальные вопросы

Специальный вопрос начинается с вопросительного слова и задается с целью получения более подробной уточняющей информации. Вопросительное слово в специальном вопросе заменяет член предложения, к которому ставится вопрос.
Специальные вопросы могут начинаться словами:
who? – кто? whom? – кого? whose? - чей? what? – что? какой? which? – который?
when? – когда? where? – где? куда? why? – почему? how? – как?
how much? – сколько? how many? – сколько? how long? – как долго? сколько времени?
how often? – как часто?

Построение специальных вопросов:

1) Специальные вопросы ко всем членам предложения, кроме подлежащего (и его определения) строятся так же, как и общие вопросы – посредством инверсии, когда вспомогательный или модальный глагол ставится перед подлежащим.

Специальный вопрос (кроме вопроса к подлежащему) начинается с вопросительного слова или группы слов за которым следуют вспомогательный или модальный глагол, подлежащее и смысловой глагол (сохраняется структура общего вопроса).

Вопрос к прямому дополнению:
What are you reading? Что ты читаешь?
What do you want to show us? Что вы хотите показать нам?

Вопрос к обстоятельству

Обстоятельства бывают разного типа: времени, места, причины, условия, образа действия и др.

He will come back tomorrow. – Он вернется завтра.
When will he come back? – Когда он вернется?
What did he do it for? Зачем он это сделал?
Where are you from?

Вопрос к определению

Вопрос к определению начинается с вопросительных слов what какой, which (of) который (из), whose чей, how much сколько (с неисчисляемыми существительными), how many сколько (с исчисляемыми существительными). Они ставятся непосредственно перед определяемым существительным (или перед другим определением к этому существительному), а затем уже идет вспомогательный или модальный глагол.

What books do you like to read? Какие книги вы любите читать?
Which books will you take? Какие книги (из имеющихся) вы возьмете?

Вопрос к сказуемому

Вопрос к сказуемому является типовым ко всем предложениям: ”Что он (она, оно, они, это) делает (делал, будет делать)?”, например:
What does he do? Что он делает?

Специальные вопросы к подлежащему

Вопрос к подлежащему (как и к определению подлежащего) не требует изменения прямого порядка слов, характерного для повествовательного предложения. Просто подлежащее (со всеми его определениями) заменяется вопросительным местоимением, которое исполняет в вопросе роль подлежащего. Вопросы к подлежащему начинаются с вопросительных местоимений:

who – кто (для одушевленных существительных)
what - что (для неодушевленных существительных)
The teacher read an interesting story to the students yesterday.
Who read an interesting story to the students yesterday?

Сказуемое в таких вопросах (после who, what в роли подлежащего) всегда выражается глаголом в 3-м лице единственного числа (не забудьте про окончание -s в 3-м лице ед. числа в Present Indefinite. Правила образования -s форм см. здесь.):
Who is reading this book? Кто читает эту книгу?
Who goes to school?

Альтернативные вопросы

Альтернативный вопрос задается тогда, когда предлагается сделать выбор, отдать чему-либо предпочтение.

Альтернативный вопрос может начинаться со вспомогательного или модального глагола (как общий вопрос) или с вопросительного слова (как специальный вопрос) и должен обязательно содержать союз or - или. Часть вопроса до союза or произносится с повышающейся интонацией, после союза or - с понижением голоса в конце предложения.

Например вопрос, представляющий собой два общих вопроса, соединенных союзом or:
Is he reading or is he writing?
Did he pass the exam or did he fail?

Вторая часть вопроса, как правило, имеет усеченную форму, в которой остается (называется) только та часть, которая обозначает выбор (альтернативу):
Is he reading or writing?

Разделительные вопросы

Основными функциями разделительных вопросов являются: проверка предположения, запрос о согласии собеседника с говорящим, поиски подтверждения своей мысли, выражение сомнения.

Разделительный (или расчлененный) вопрос состоит из двух частей: повествовательной и вопросительной.

Первая часть - повествовательное утвердительное или отрицательное предложение с прямым порядком слов.

Вторая часть, присоединяемая через запятую, представляет собой краткий общий вопрос, состоящий из местоимения, заменяющего подлежащее, и вспомогательного или модального глагола. Повторяется тот вспомогательный или модальный глагол, который входит в состав сказуемого первой части. А в Present и Past Indefinite, где нет вспомогательного глагола, употребляются соответствующие формы do/ does/ did.

В второй части употребляется обратный порядок слов, и она может переводится на русский язык: не правда ли?, не так ли?, верно ведь?

1. Если первая часть вопроса утвердительная, то глагол во второй части стоит в отрицательной форме, например:

You speak French, don't you? You are looking for something, aren't you? Pete works at a plant, doesn't he?

2. Если первая часть отрицательная, то во второй части употребляется утвердительная форма, например:

It is not very warm today, is it? John doesn't live in London, does he?

Безличные предложения

Поскольку в английском языке подлежащее является обязательным элементом предложения, в безличных предложениях употребляется формальное подлежащее, выраженное местоимением it. Оно не имеет лексического значения и на русский язык не переводится.

Безличные предложения используются для выражения:

1. Явлений природы, состояния погоды: It is/(was) winter. (Была) Зима. It often rains in autumn. Осенью часто идет дождь. It was getting dark. Темнело. It is cold. Холодно. It snows. Идет снег.

2. Времени, расстояния, температуры: It is early morning. Ранее утро. It is five o'clock. Пять часов. It is two miles to the lake. До озера две мили. It is late. Поздно.

3. Оценки ситуации в предложениях с составным именным (иногда глагольным) сказуемым, за которым следует подлежащее предложения, выраженное инфинитивом, герундием или придаточным предложением: It was easy to do this. Было легко сделать это.
It was clear that he would not come. Было ясно, что он не придет.

4. С некоторыми глаголами в страдательном залоге в оборотах, соответствующих русским неопределенно-личным оборотам: It is said he will come. Говорят, он придет.

Местоимение. The Pronoun.
Классификации местоимений.

1	**personal**	личные
2	**possessive**	притяжательные
3	**demonstrative**	указательные
4	**indefinite and negative**	неопределенные и отрицательные
5	**quantifiers**	количественные
6	**reflexive**	возвратные
7	**reciprocal**	взаимные
8	**relative**	относительные
9	**defining**	определительные
10	**interrogative**	вопросительные

I. Личные (personal) местоимения

Общий падеж		**Объектный падеж**	
I	я	**me**	мне, меня
he	он	**him**	его, ему
she	она	**her**	ей, о ней
it	оно, это	**it**	ей, ему, этому
we	мы	**us**	нам, нас

they	они	**them**	им, их
you	ты, вы	**you**	тебе, вам

Внимание! He (он) и **she (она)** в английском языке можно говорить только про людей. Все остальные английские существительные (предметы, животные, явления природы, чувства и т. д.) - обозначаются – it (оно, это).

he	**she**	**it**
a boy – мальчик **a man –** мужчина **brother –** брат **father –** отец **Nick –** Николай **Mr Grey –** мистер Грей	**a girl –** девочка **a woman –** женщина **sister – с**естра **motherч–** мама **Kate –** Катя **Mrs Grey –** миссис Грей	**a cat –** кот **a wall –** стена **rain –** дождь **love –** любовь **a hand –** рука **an apple -** яблоко

Англичане говорят <u>It's me</u>, а не It's I (это я).

II. Притяжательные (possessive) местоимения

Притяжательные местоимения выражают принадлежность и имеют в английском языке **две формы - основную** (после этой формы обязательно требуется существительное).
Whose pen is it? - *Чья это ручка?* - **It's my pen**. - *Это моя ручка*.
И **абсолютную** (существует самостоятельно, без существительного) - **It's mine.** - *Это моя.*

Личное местоимение	**Основная форма**	**Абсолютная форма**
I – я **he –** он **she –** она **it – оно,** это **we –** мы **you –** ты, вы **they -** они	**my (toy) -** моя (игрушка) **his (toy) -** его (игрушка) **her (toy) -** ее (игрушка) **its (toy) -** его (не о человеке) **our (toy) -** наша (игрушка) **your (toy) -** ваша, твоя (игрушка) **their (toy) -** их (игрушка)	**his -** его **hers -** ее **its -** его (этого) **ours -** наша **yours -** ваша, твоя **theirs -** их

III. Указательные (demonstrative) местоимения

this (это, эта, этот) **– these** (эти) **that** (то, та, тот) **- those** (те)

IV. Неопределенные (indefinite) и отрицательные (negative) местоимения

Местоимения some, any, every, и их производные

• Если у вас есть, например, яблоки и вы знаете, сколько их, вы говорите:
I have/l have got three apples. *У меня есть 3 яблока,*
• Если вы не знаете точное количество, то используйте неопределенное местоимение **some: I have/1 have got apples.** *У меня есть несколько яблок (некоторое количество).*

Производные от неопределенных местоимений

Слово **"think"** обозначает **"вещь"** (не обязательно материальная).
Слово **"body"** обозначает **"тело".** Эти слова являются основой для целого ряда словообразований.

Thing используется для неодушевленных (что-то):

some		**something –** *что-то, что-нибудь*
any		**anything -** *что-то, что-нибудь*
	thing	
no		**nothing -** *ничего, ничто*

every	**everything** - *все*
Body/one - для одушевленных (кто-то):	
some	**somebody/someone** – *кто-то, кто-нибудь*
any	**anybody/anyone** - *кто-то, кто-нибудь*
body/one	
no	**nobody / no one** - *никого, никто*
every	**everybody /everyone** – *все, каждый*
Местоимение **some** и основа **body** должны произноситься и писаться слитно, в противном случае вместо **somebody** – *кто-то*, получится **some body** - *какое-то тело*, **Something/somebody/someone** - в утвердительных предложениях, **anything/anybody/anyone** - в отрицательных и вопросительных предложениях**, nothing/nobody/no one** – в отрицательных. **Anything/anybody/anyone** - также используются в утвердительных предложениях, но в значении *что угодно/кто угодно*	

somewhere - *где-нибудь, куда-нибудь*	**anywhere** - *где угодно*
nowhere - *нигде*	**everywhere** - *везде*

V. Количественные (quantifiers) местоимения

Many и much - оба слова обозначают **" много"**, С **исчисляемыми** существительными (теми, которые можно посчитать, можно образовать множественное число) используется слово **many**, а с **неисчисляемыми** - слово **much**.	
many girls - *много девочек* **many boys** - *много мальчиков* **many books** - *много книжек*	**much snow** - *много снега* **much money** - *много денег* **much time** - *много времени*
How many? } **сколько?** **How much?** } **сколько?**	**How many girls?** - *Сколько девочек?* **How much sugar?** - *Сколько сахара?* **How much sugar?** - *Сколько сахара?*
a lot of... - много - используется и с исчисляемыми, и с неисчисляемыми существительными a lot без (of) используется и без существительного. **Сравните**: He writes **a lot** of funny stories**.** *Он пишет много забавных рассказов.* He writes **a lot.** *Он много пишет.*	girls – много девочек **a lot of** sugar - много сахара
В утвердительных предложениях используйте **a lot of.** В отрицательных и в вопросительных **many/much,** **Сравните:** (+) My grandmother often cooks **a lot of** tasty things. *Моя бабушка часто готовит много вкусного*. (-) But we don't eat **much.** *Но мы не едим много*. (?) Do you eat much? *Вы много едите?* Иногда слова **much** и **a lot** являются синонимами слова **"часто":** Do you ski **much**? *Вы много (часто) катаетесь на лыжах?* No, not much (= not often).Нет, не часто.	

Few, little, a few, a little
С неисчисляемыми существительными используйте слово little (мало),
а с исчисляемыми - few (мало).

few books - мало книг **few girls** - мало девочек **few boys** - мало мальчиков	**little time** - мало времени **little money** - мало денег **little snow** - мало снега
little } **мало (т.е. надо еще)** **few** } **мало (т.е. надо еще)**	**a little** } **немного (т.е. пока хватает)** **a few** } **немного (т.е. пока хватает)**

VI. Возвратные (reflexive) местоимения

Возвратные местоимения образуются от личных местоимений в объектном падеже и притяжательных местоимений прибавлением **- self** в единственном числе и **- selves** во множественном числе. Возвратные местоимения используются для того, чтобы показать, что объект, названный подлежащим предложения сам совершает действие.

Личное местоимение	**Возвратное местоимение**	**Пример**	**Перевод**
I	myself	I did it myself.	Я сделал это сам
he	himself	He did it himself.	Он сделал это сам.
she	herself	She did it herself.	Она сделала это сама
you	yourself	You did it yourself.	Вы сделали это сами.
they	themselves	They did it themselves.	Они сделали это сами.
we	ourselves	We did it ourselves.	Мы сделали это сами.

VII. Взаимные (reciprocal) местоимения

Each other - друг друга (относится к двум лицам или предметам).
One another - друг друга (относится к большему количеству лиц или предметов).
They spoke to <u>each other</u> rather friendly. *Они разговаривали друг с другом довольно дружелюбно.*
They always help <u>one another</u>. *Они всегда помогают друг другу.*

VIII. Относительные (relative) местоимения

Who (whom), whose, which, that

who	**Именительный падеж <u>who</u> (подлежащее)** **The girl <u>who</u> is playing the piano is my sister.** *Девочка, которая играет на пианино, - моя сестра.*
	Объектный падеж <u>whom</u> (дополнение) **The man <u>whom</u> I love the best is your brother.** *Человек, которого я люблю больше всех, - твой брат.*
which	**Для неодушевленных предметов и животных** **The flowers <u>which</u> you brought me were pretty nice.** *Цветы, которые ты мне принес, очень милые.*
whose	**Для одушевленных существительных** **This is the man <u>whose</u> book we read yesterday.** *Это человек, книгу которого мы читали вчера.*
	Для неодушевленных существительных **We saw the tree <u>whose</u> leaves were absolutely yellow.** *Мы увидели дерево, листья которого были абсолютно желтыми.*
that	**Для одушевленных существительных** **This is the man <u>that</u> we saw yesterday.** *Это мужчина, которого мы видели вчера.*
	Для неодушевленных существительных **This is the film <u>that</u> we saw yesterday.** *Это фильм, который мы видели вчера.*

IX. Определительные (defining) местоимения

all

Употребление	**Примеры**	**Перевод**
определяет неисчисляемые	He spent **all his** time fishing on the	Он провел все свое время,

существительные	lake**.**	ловя рыбу на озере.
определяет исчисляемые существительные	**All the** boys like football. **(the после all!)**	Все мальчишки любят футбол.
all = everything	I know **all/everything.**	Я знаю всё.
all = everybody	**All** were hungry. **Everybody** was hungry.	Все были голодны. Все были голодны.
we all = ail of us you all = all of you they all = ail of them	We **all** love you very much = **All** of us love you very much.	Мы все тебя очень любим

both

Употребление	Примеры	Перевод
определяет существительные	**Both (the/my) friends like football.**	Оба моих друга любят футбол
допускается использование артикля вместо указательных местоимений после both	**Both these/the men are Russian.**	Оба (эти) мужчины - русские.
употребляется вместо существительного	**He gave me two apples. Both were sweet.**	Он дал мне два яблока. Оба были сладкими.
they both = both of them you both = both of you we both = both of us	**They both (both of them) came to visit us.**	Они оба пришли навестить нас.
в устойчивой конструкции **both...and.**	**Both mother father were at home**	И мама, и папа были дома.
в отрицательных предложениях **вместо both** используется **neither**	**Both of them know English. Neither of them know English.**	Они оба знают английский. Ни один из них не знает английского.

either/neither

	Употребление	Примеры	Перевод
either	любой из двух (артикль не ставится)	**I've got 2 cakes. Take either cake.**	У меня 2 пирожных. Возьми любое.
	каждый, оба, и тот, и другой	**There are windows on either side of the house.**	С обеих сторон дома есть окна.
	заменяет существительное (глагол в ед. числе)	**Either of dogs is always hungry.**	Любая из собак вечно голодная.
neither	отрицательное местоимение-определение (ни тот, ни другой)	**Neither of examples is correct.**	Ни один из примеров не верен.
	в констр. neither.. .nor (ни.. .ни)	**I like neither tea, nor coffee.**	Я не люблю ни чай, ни кофе.

other, another, the other, the others (другой, другие)

	Употребление	Примеры	Перевод
the other	другой (второй), другой из двух	**You've got 2 balls: one and the other.**	У тебя 2 мяча: один и другой.
another	другой из многих, еще один	**Take another ball.**	Возьми другой мяч. (Любой, но не этот.)
other	другие (любые), не последние	**Take other 2 balls.**	Возьми другие 2 мяча. (Из многих.)

the others	другие (определенные)	**There are 4 balls: 2 balls are red and the others are blue.**	Есть 4 мяча: 2 красных, а другие 2 - синие.

X. Вопросительные (interrogative) местоимения

what	что	**What's this?**	Что это?
which	который	**Which of them?**	Который из них?
who	кто, кого	**Who was that?**	Кто это был?
whom	кого	**Whom did you meet?**	Кого ты встретил?
whose	чей	**Whose book is it?**	Чья это книга?

Имя существительное. The Noun

Категории	Существительное в русском языке	Существительное в английском языке
Число	**Изменяется**	**Изменяется**
Падеж	**Изменяется**	**Не изменяется**

The Plural Form of Nouns

Образование множественного числа у английских существительных

Способ образования	Примеры	Перевод
после глухих согласных	**a book - books** **a cup - cups**	**книга - книги** **чашка - чашки**
после звонких согласных и гласных -	a name - names a girl - girls	**имя - имена** **девочка - девочки**
после шипящих, свистящих звуков -ch, -sh, -x, -s, -z: -es	a palace - palaces a bush - bushes a box - boxes a church - churches	дворец - дворцы куст - кусты коробка - коробки церковь - церкви
слово заканчивается на -y: 1) гласная +y	**a toy - toys** **a boy - boys**	игрушка - игрушки мальчик - мальчики
2) согласная **+** y	**a family - families** **a story - stories**	**семья - семьи** **история - истории**
слово заканчивается на *-file*	**a leaf - leaves** **a shelf - shelves**	лист - листья полка - полки

Особые случаи образования множественного числа

Ед. число	**Мн. число**	**Перевод**
man	men	мужчина - мужчины
woman	women	женщина - женщины
foot	feet	нога (стопа) - ноги (стопы)
child	children	ребенок - дети
goose	geese	гусь - гуси
mouse	mice	мышь - мыши
ox	oxen	**бык - быки**
tooth	teeth	**зуб - зубы**

Слова - заместители существительных **Substitutions: one/ones**

При повторном использовании одного и того же существительного в одном предложении, вместо него следует использовать one (в единственном числе) и ones (во множественном числе):

This table is bigger that that one - Этот стол больше, чем тот (стол).
These table are bigger than those ones. - Эти столы больше, чем те (столы).

Со словами one/ones **может быть использован артикль, если перед ними стоит прилагательное.**	
What apple do you want? **Какое ты хочешь яблоко?** **The red one. Красное.**	**What apples do you want?** **Какие яблоки ты хочешь?** **The red ones. Красные.**

Английские существительные не имеют падежных окончаний традиционно выделяют два падежа -общий и притяжательный.

Общий падеж

И. п. Эта девочка хорошо говорит по-английски.	This girl speaks English well.
Р. п. Это собака той девочки.	It's a dog of that girl.
Д. п. Я дал яблоко той девочке. .	I gave an apple to that girl.
В. п. Я вижу маленькую девочку. .	1 can see a little girl.
Т. п. Я люблю гулять с этой девочкой.	1 like to play with this girl.
П. п. Я часто думаю об этой девочке.	1 often think about this girl.

Притяжательный падеж. The Possessive Case
Образование притяжательного падежа

	Образование	**Примеры**	**Перевод**
существительные в единственном числе	**'s**	**bird's house** **child's ball**	домик птички мячик ребенка
существительные во множественном числе (группа исключений}	**'s**	**children's bail** **women's rights**	мячик детей права женщин
существительное во множественном числе	**'**	**girls' toy** **birds' house**	игрушка девочек домик птичек

Формула притяжательного падежа обычно имеют лишь одушевленные существительные, обозначающие живое существо, которому что-то принадлежит,

my mother's book - мамина книга,

this girl's bail - мячик девочки,

the bird's house - домик птички

Для того, чтобы показать принадлежность объекта неодушевленному предмету, используется предлог of:

the handle of the door (ручка (от) двери), но чаще образуется составное существительное door-handle,

Артикль. The Article

1. Неопределенный a/an (используется перед исчисляемыми существительными в единственном числе)

a cat –кот a dog –собака a boy – мальчик a girl -девочка
a teacher - учитель

2. Определенный the (может использоваться с любыми существительными)

the cat -кот the houses –дома the water -вода the weather –погода
the flowers - цветы

Если слово начинается с гласной буквы, к артиклю "a" добавляется буква "n", для того, чтобы две гласные не сливались: an apple (яблоко), an orange (апельсин), an author (автор) и т, д. Слово "an hour" (час) начинается с согласной буквы "h", но в слове эта буква не читается, т.е. слово начинается с гласного звука, поэтому к артиклю "a" также добавляется n = an

Упоминая объект впервые, перед ним ставят неопределенный артикль a/an при вторичном с упоминании того же самого объекта, перед ним ставят определенный артикль the

I see a cat, Я вижу кота (одного). The cat is black. (этот) Кот – черный.

This is a kitten. Это - котенок. (Один из многих) The kitten is hungry. (этот) Котенок - голодный.

I have a book- У меня есть книга. The book is interesting. (эта) Книга - интересная.

Неопределенный артикль a/an опускается перед исчисляемыми существительными и существительными во множественном числе.

a pen - pens (ручка - ручки) a dog - dogs (собака - собаки) a book - books (книга -книги)
- water (вода) - snow (снег) - meat (мясо)

Использование неопределенного артикля a

один из множества (любой)	This is a cat.
первое упоминание в тексте	I see a bird.
при упоминании профессии	My brother is a pilot.
в восклицательных предложениях	What a good girl! What a surprise! Such a fine room!
вместо слова один	She is coming for a weak.
в определенных конструкциях there is a... I have a… he has a... I see a... this is a... that is a… It is a... Iama… he/she is a…	There is a book here. I have got a nice coat. He has a kind smile. I see a wolf. This is a dog. That is a doctor. It is a red pen. I am a good swimmer. He/she is a tourist
в ряде устойчивых словосочетаний at a quarter.., in a loud, (a low, an angry voice) to have a good time a lot of to go for a walk such a... after a while in a day (a month, a week, a year)	Come at a quarter to 8. Don't speak to him in an angry voice. We had a good time in the country. She has got a lot of presents. Let's go for a walk. He is such a clever boy. You'll see them after a while. We are living in a day.

Использование определенного артикля the

если речь идет о конкретном лице или предмете	The pen is on the table.
при повторном упоминании того же самого объекта	I see a cat. The cat is black.
если слово обозначает нечто, существующее в единственном лице, с частями света	the sun, the moon, the Earth
со словами: only (только), main (главный), central (центральный), left (левый), right (правый), wrong (неправильный), next (следующий), last (последний), final (заключительный)	The only man I love the main road to the left, to the right It was the right answer. the final test
с порядковыми числительными	the first, the tenth

с прилагательными в превосходной степени	the kindest, the most interesting the best
с музыкальными инструментами и танцами	to play the piano, to dance the tango
с обобщающими существительными (класс людей» животных, термины, жанры)	The Britons keep their traditions.
с названиями музеев, кинотеатров, кораблей, галерей, газет, журналов	the Hermitage the Tretyakov Gallery the Avrora the Seasame Street
с названиями океанов, рек, морей, каналов, пустынь, групп, островов, штатов, горных массивов, наименований с of	the Atlantic ocean the Neva river the Black sea Changing of the Guard

Использование определенного артикля в ряде устойчивых словосочетаний

in the middle, in the corner	The table is in the middle of the room.
in the morning, In the evening, in the afternoon	I never drink coffee in the evening.
what's the use?	What's the use of going there so late?
to the cinema, to the theatre, to the shop, to the market	Do you like going to the theatre? He works at the shop.
at the cinema, at the theatre, at the shop, at the market	The fact is that I have no money at all.
the fact is (was) that...	Where is the doctor?
where is the…?	We always spend summer in the country.
in the country, to the country	

Сколько бы прилагательных-определений ни стояло перед существительным, все эти определения ставятся между артиклем и существительным: A big, black, fat cat большой, черный, толстый кот.

Случаи, когда артикль не употребляется

если, перед существительным стоит притяжательное местоимение	a pen - my pen a dog - his dog the teacher - our teacher the apple - her apple
если перед существительным стоит указательное местоимение	the cats - those cats the books - these books a mouse - this mouse
если стоит другое существительное в притяжательном падеже	a car - father's car the horse - farmer's horse a bike - brother's bike the doll - sister's doll
если перед существительным стоит, количественное числительное	5 balls, 7 bananas, 2 cats
если перед существительным стоит отрицание "no"	She has no children. I see no birds.
перед именами	Mike, Kate, Jim, etc
с названиями дней недели	Sunday, Monday, etc.
с названиями месяцев	May, December, etc.
с названиями времен года	in spring, in winter
с названиями цветов	white, etc. I like green
с названиями спортивных игр	football, chess, etc.
с названиями блюд, напитков	tea, coffee, soup, etc,
с названиями праздников	Easter, Christmas, etc.

с названиями языков, если нет слова (язык). Если есть, нужен артикль the	English, etc. I learn English, the English language
с названиями стран	Russia, France, etc НО: the USA, the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, the Netheriands, the Ukraine, the Congo
с названиями городов	Moscow, Paris, etc.
с названиями улиц, площадей	Trafalgar Square
с названиями парков	St James' Park, Hyde Park
с названиями мостов	Tower Bridge
с названиями одиночных гор	Kilimanjaro
с названиями озер	Loch Ness
с названиями континентов	Asia, Australia, etc.
с названиями одиночных островов	Cyprus
если перед существительными стоит вопросительное или отрицательное местоимение	what animals can swim? I know what thing you have lost!

ГЛАГОЛ (THE VERB)

Глаголом называется часть речи, обозначающая действие или состояние предмета или лица.

В английском языке признаком глагола в неопределенной форме (инфинитиве) является частица to.

По своей структуре глаголы делятся на:

1. Простые, состоящие только из одного корня:

to fire - стрелять; зажигать
to order - приказывать
to read - читать
to play - играть

2. Производные, состоящие из корня и префикса, из корня и суффикса или из корня, префикса и суффикса:

to unpack - распаковывать
to dismiss - увольнять, отпускать
to realize - представлять себе
to shorten - укорачивать (ся)
to encounter - встречать (ся), наталкивать (ся)
to regenerate - перерождаться, возрождаться

3. Сложные, состоящие из двух основ (чаще всего основы существительного или прилагательного и основы глагола):

to broadcast (broad + cast) - передавать по радио
to whitewash (white + wash) - белить

4. Составные, состоящие из глагольной основы и наречия или предлога:

to carry out - выполнять
to sit down - садиться

По значению глаголы делятся на смысловые и служебные.

1. Смысловые глаголы имеют самостоятельное значение, выражают действие или состояние: Lomonosov as a poet and scientist played a great role in the formation of the Russian literary language. Как поэт и ученый Ломоносов сыграл огромную роль в создании русского литературного языка.

2. Служебные глаголы не имеют самостоятельного значения и употребляются для образования сложных форм глагола или составного сказуемого. Они являются спрягаемым элементом сказуемого и в его формах выражается лицо, число и время. К ним относятся:

1. Глаголы-связки to be быть, to become становиться, to remain оставаться, to grow становиться, to get, to turn становиться, to look выглядеть, to keep сохраняться.

Every man is the maker of his own fortune. Каждый человек-творец своей судьбы.

2. Вспомогательные глаголы to be, to do, to have, to let, shall, will (should, would):

The kitchen was supplied with every convenience, and there was even a bath-room, a luxury the Gerhardts had never enjoyed before. На кухне имелись все удобства; была даже ванная комната- роскошь, какой Герхардты никогда до сих пор не обладали.

3. Модальные глаголы can, may, must, ought, need: He that would eat the fruit must climb the tree. Кто любит фрукты, должен влезть на дерево (чтобы сорвать). (Любишь кататься-люби и саночки возить.)

Все формы глагола в английском языке делятся на личные и неличные.

Личные формы глагола выражают время, лицо, число, наклонение. Они выполняют в предложении функцию сказуемого. К личным формам относятся все формы времен действительного и страдательного залога (изъявительного и сослагательного наклонения):

As you leave the Kremlin by Spassky Gate you come out on the Red Square. Если вы выходите из Кремля мимо Спасских Ворот, вы оказываетесь на Красной площади.

Неличные формы глагола не различаются по лицам и числам. Они не могут самостоятельно выполнять в предложении функцию сказуемого, но могут входить в его состав. К неличным формам относятся: инфинитив, причастие и герундий. Every step towards eliminating nuclear weapons is in the interests of every nation. Любой шаг в направлении уничтожения ядерного оружия служит интересам каждого государства.

Личные формы глагола в английском языке имеют три наклонения: изъявительное (the Indicative Mood), повелительное (the Imperative Mood) и сослагательное (the Subjunctive Mood).

Глаголы в изъявительном наклонении выражают реальное действие, передают факты:

His son goes to school. Его сын учится в школе.

She has written an interesting article. Она написала интересную статью.

A new building of the theatre was built in this street. На этой улице построили новое здание театра.

Глаголы в повелительном наклонении выражают приказание, просьбу, совет, запрещение, команду:

"Don't buy them", warned our cautious driver. "Не покупайте их", - предупредил наш осторожный шофер.

Undertake not what you cannot perform but be careful to keep your promise. Не беритесь за то, что не сможете выполнить, но старайтесь сдержать обещание.

Глаголы в сослагательном наклонении выражают действие не реальное, а желательное или предполагаемое: If there were no bad people, there would be no good lawyers. Если бы не было плохих людей, не было бы хороших адвокатов.

Как личные, так и неличные формы глагола имеют **два залога**: действительный (the Active Voice) и страдательный (the Passive Voice).

Глаголы в действительном залоге выражают действие, которое производится подлежащим: I inform you that I have carried out the mission. Сообщаю, что я выполнил задание.

Глаголы в страдательном залоге выражают действие, которое испытывает на себе подлежащее: I was informed that the mission had been carried out. Мне сообщили, что задание было выполнено.

Формы глагола могут выражать отношение между действием и временем. В русском языке бывают глаголы **совершенного и несовершенного вида**. **Глаголы совершенного вида** обозначают действие, которое закончено, и есть его результат:

Он прочитал эту статью с интересом.

Глаголы несовершенного вида обозначают действие, указывая на его повторяемость, длительность, незаконченность: Вчера он читал эту статью с интересом. (Но он мог и не прочитать ее).

Вид глагола в русском языке выражается либо изменением его формы, либо с помощью суффиксов и приставок. Видовые значения глагола в английском языке выражаются сочетанием вспомогательного глагола с причастием настоящего или прошедшего времени смыслового глагола.

В английском языке четыре видо-временных группы глагола: неопределенные времена (Indefinite Tenses), продолженные времена (Continuous Tenses), совершенные времена (Perfect Tenses), и совершенные продолженные времена (Perfect Continuous Tenses). В каждой временной группе три времени: настоящее (Present), прошедшее (Past), будущее (Future).

Глагол “to be”

A: Are you from England?
B: No, we aren't. We're from China.

He's Tom and she's Helen. They are friends.

Утверждение		Отрицание		Вопрос
Полная форма	Краткая форма	Полная форма	Краткая форма	Am I?
I am	I'm	I am not	I'm not	Are you?
You are	You're	You are not	You aren't	Is he?
He is	He's	He is not	He isn't	Is she?
She is	She's	She is not	She isn't	Is it?
It is	It's	It is not	It isn't	Are we?
We are	We're	We are not	We aren't	Are you?
You are	You're	You are not	You aren't	Are they?
They are	They're	They are not	They aren't	

Краткими ответами называются ответы на вопросы, начинающиеся с глагольной формы is /are; в кратком ответе содержание вопроса не повторяется. Употребляется только Yes или No, далее личное местоимение в именительном падеже и глагольная форма is (isn't) / are (aren't). Например: Are you British? No, I'm not.

Yes, I am /we are. No, I'm not/we aren't.
Yes, he/she/it is. No, he/she/it isn't.
Yes, they are. No, they aren't.

WAS/WERE

Bob is eighty. He's old and weak.
Mary, his wife is seventy-nine. She's old too.
Fifty years ago they were young. Bob was strong. He wasn't weak. Mary was beautiful. She wasn't old.

В прошедшем простом времени (past simple) глагол "to be" с личными местоимениями в именительном падеже имеет следующие формы: was для I, he, she, it и –were для –we, you, they. В вопросахwas/were ставятся перед личным местоимением в именительном падеже (I, you, he и т.д.) или существительным. Например: She was ill yesterday. -> Was she ill yesterday? Отрицания образуются путем постановки not после was/were. Например: She was not ill yesterday. She wasn't ill yesterday.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
I was	I was not	I wasn’t	Was I?
You were	You were not	You weren’t	Were you?
He was	He was not	He wasn’t	Was he?

She was	She was not	She wasn’t	Was she?
It was	It was not	It wasn’t	Was it?
We were	We were not	We weren’t	Were we?
You were	You were not	You weren’t	Were you?
They were	They were not	They weren’t	Were they?

ОБОРОТ THERE IS/THERE ARE

There is a sofa in the room. There are two pictures on the wall. There isn't a TV in the room. What else is there in the room?

Мы употребляем конструкцию there is/there are, чтобы сказать, что кто-то или что-то существует или находится в определенном месте. Краткая форма there is – there’s. There are не имеет краткой формы. Например: There is (There's) a sofa in the room. There are four children in the garden.

Вопросительная форма: Is there? Are there? Например: Is there a restaurant in the town? Are there any apples in the basket?

Отрицательная форма: There isn’t …/There aren’t … Например: There is not / isn't a man in the room. There are not/aren't any cars in the street.

Краткие ответы строятся с помощью Yes, there is/are или No, there isn't / aren't. Содержание вопроса не повторяется.

Yes, there is. No, there isn't.

Yes, there are. No, there aren't.

Мы употребляем there is / there are, чтобы сказать, что что-то существует или находится в определенном месте, it is / they are - когда уже упоминали об этом. Например: There is a house in the picture.

It is a big house. (Но не: It's a house in the picture.)

There are three books on the desk.

They are history books. (Но не: They are three books on the desk.)

Конструкция There was/There were

This is a modern town today.

There are a lot of tall buildings and shops. There are cars and there isn't much peace and quiet.

This is the same town fifty years ago.

There weren't any tall buildings. There were some old houses. There weren't many cars and there wasn't much noise.

Конструкция There was/There were - это There is / There are в форме past simple. There was употребляется с существительными в единственном числе. Например: There was a post office in the street thirty years ago. There were употребляется с существительными во множественном числе. Например: There were a few houses in the street thirty years ago.

В вопросах was/were ставятся перед there. Например: Was there a post office in the street thirty years ago? Were there any houses in the street thirty years ago?

Отрицания строятся путем постановки not после was / were. Например: There was not / wasn't a post office in the street thirty years ago. There were not / weren't any houses in the street thirty years ago.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
There was	There was not	There wasn't	Was there?
There were	There were not	There weren't	Were there?

Краткие ответы строятся с помощью Yes или No и there was/there were. Содержание вопроса не повторяется.

Was there a book on the desk? Yes, there was. No, there wasn't.

Were there any people in the shop? Yes, there were. No, there weren't.

Глагол Have got

A bird has got a beak, a tail and wings.
Has she got long hair? No, she hasn't. She's got short hair.
What have they got? They've got roller blades. They haven't got skateboards.
She has got a headache.

Have (got) используется:

а) чтобы показать, что что-то принадлежит кому-то. Например: He's got a ball.
б) при описании людей, животных или предметов. Например: She's got blue eyes.
в) в следующих высказываниях: I've got a headache. I've got a temperature. I've got a cough, I've got a toothache, I've got a cold, I've got a problem.

Утверждение		Отрицание		Вопрос
Полная форма	Краткая форма	Полная форма	Краткая форма	Have I (got)?
I have (got)	I've (got)	I have not (got)	I haven't (got)	Have you (got)?
You have (got)	You've (got)	You have not (got)	You haven't (got)	Has he (got)?
He has (got)	He's (got)	He has not (got)	He hasn't (got)	Has she (got)?
She has (got)	She's (got)	She has not (got)	She hasn't (got)	Has it (got)?
It has (got)	It's (got)	It has not (got)	It hasn't (got)	Have we (got)?
We have (got)	We've (got)	We have not (got)	We haven't (got)	Have you (got)?
You have (got)	You've (got)	You have not (got)	You haven't (got)	Have they (got)?
They have (got)	They've (got)	They have not (got)	They haven't (got)	

Had

Grandpa, did you have a TV when you were five?
No, I didn't. People didn't have TV's then. They had radios.

Have (had) в past simple имеет форму Had для всех лиц.

Вопросы строятся с помощью вспомогательного глагола did, личного местоимения в именительном падеже и глагола - have. Например: Did you have many toys when you were a child? Отрицания строятся с помощью did not и have. Например: I did not / didn't have many toys when I was a child.

Утверждение	Отрицание		Вопрос
	Полная форма	Краткая форма	
I had	I did not have	I didn't have	Did I have?
You had	You did not have	You didn't have	Did you have?
He had	He did not have	He didn't have	Did he have?
She had	She did not have	She didn't have	Did she have?
It had	It did not have	It didn't have	Did it have?
We had	We did not have	We didn't have	Did we have?
You had	You did not have	You didn't have	Did you have?
They had	They did not have	They didn't have	Did they have?

Имя прилагательное. The Adjective

Категории	**Прилагательное в русском языке**	**Прилагательное в английском языке**
Число	изменяется	не изменяется
Род	изменяется	не изменяется
Падеж	изменяется	не изменяется

Образование имен прилагательных

Имена прилагательные бывают: **простые и производные**

К **простым** именам прилагательным относятся прилагательные, не имеющие в своем составе

ни приставок, ни суффиксов: small - *маленький*, **long** - *длинный*, **white** - *белый*.
К **производным** именам прилагательным относятся прилагательные, имеющие в своем составе **суффиксы** или **приставки**, или одновременно и те, и другие.

Суффиксальное образование имен прилагательных

Суффикс	Пример	Перевод
- ful	use**ful** doubt**ful**	**полезный** **сомневающийся**
- less	help**less** use**less**	**беспомощный** **бесполезный**
- ous	fam**ous** danger**ous**	**известный** **опасный**
- al	form**al** centr**al**	**формальный** **центральный**
- able	eat**able** cap**able**	**съедобный** **способный**

Приставочный способ образования имен прилагательных

Приставка	Пример	Перевод
un -	**un**cooked **un**imaginable	**невареный** **невообразимый**
in -	**in**capable **in**human	**неспособный** **негуманный**
il -	**il**legal **il**liberal	**нелегальный** **необразованный**
im -	**im**possible **im**practical	**невозможный** **непрактичный**
dis -	**dis**honest **dis**agreeble	**бесчестный** **неприятный**
ir -	**ir**regular **ir**responsible	**неправильный** **безответственный**
Некоторые имена прилагательные являются составными и образуются из двух слов, составляющих одно понятие: **light-haired –** светловолосый, **snow-white –** белоснежный.		

Прилагательные, оканчивающиеся на – ed и на - ing

- ed	**- ing**
Описывают чувства и состояния	**Описывают предметы, вещи, занятия, вызывающие эти чувства**
interested – интересующийся, заинтересованный	**interesting** - интересный
bored - скучающий	**boring** - скучный
surprised - удивленный	**surprising** - удивительный

Степени сравнения прилагательных

Английские прилагательные не изменяются ни по числам, ни по родам, но у них есть **формы степеней сравнения.**
Имя прилагательное в английском языке имеет **три формы** степеней сравнения:
- положительная степень сравнения **(Positive Degree);**
- сравнительная степень сравнения **(Comparative Degree);**
- превосходная степень сравнения **(Superlative Degree).**

Основная форма прилагательного - положительная степень. Форма сравнительной и

превосходной степеней обычно образуется от формы положительной степени одним из следующих способов:

1. -er. -est

Односложные прилагательные образуют **сравнительную степень** путем прибавления **к форме прилагательного в положительной степени** суффикса **- er.** Примерно, тоже самое мы делаем и в русском языке - добавляем "е" (большой - больше, холодный - холоднее).

Превосходная степень образуется путем прибавления суффикса **- est. Артикль the обязателен!!!**

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
cold - холодный	cold**er** - холоднее	the cold**est** - самый холодный
big - большой	bigg**er** - больше	the bigg**est** - самый большой
kind - добрый	kind**er** - добрее	the kind**est** - самый добрый

По этому же способу образуются степени сравнения двусложных прилагательных оканчивающихся на **-y, -er, -ow, -ble:**

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
clever — умный	clever**er - умнее**	**the** clever**est - самый умный**
easy - простой	eas**ier - проще**	**the** easi**est - самый простой**
able - способный	abl**er - способнее**	**the** abl**est - самый способный**
busy - занятой	bus**ier - более занятой**	**the** busi**est - самый занятой**

При образовании степеней сравнения посредством суффиксов **– er и – est** соблюдаются следующие **правила орфографии:**

Если прилагательное заканчивается на немое **"e" ,** то при прибавлении **– er и – est немое "e" опускается:**

large **– large**r **- the** large**st /** большой – больше – самый большой

brave **– brave**r **– the** brave**st /** смелый – смелее – самый смелый

Если прилагательное заканчивается **на согласную с предшествующим кратким гласным звуком,** то в сравнительной и превосходной степени **конечная согласная буква удваивается:**

big – bigg**er –** bigg**est /** большой – больше – самый большой

hot – hott**er –** hott**est /** горячий – горячее – самый горячий

thin – thinn**er –** thinn**est /** тонкий – тоньше – самый тонкий

Если прилагательное **заканчивается на "y" с предшествующей согласной,** то в сравнительной и превосходной степени **"y" переходит в "i":**

busy – bus**ier – busiest / занятой – более занятой – самый занятой**

easy – eas**ier –** eas**iest / простой – проще – самый простой**

2. more, the most

Большинство двусложных прилагательных и прилагательных, состоящих из трех и более слогов, образуют сравнительную степень при помощи слова **more**, а **превосходную** – при помощи слова **most**.

Эти слова ставятся перед именами прилагательными в положительной степени:

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
beautiful - красивый	**more beautiful** - красивее	**the most beautiful** - самый красивый
interesting – интересный	**more interesting** - интереснее	**the most interesting** - самый интересный
important - важный	**more important** - важнее	**the most important** - самый важный

Особые формы

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень

good - хороший **bad** - плохой **little** - маленький **much/many** - много **far** - далекий/далеко **old** - старый	**better** - лучше **worse** - хуже **less** - меньше **more** - больше **farther/further** - дальше **older/elder** - старше	**the best** - самый лучший **the worst** - самый плохой **the least** - самый маленький, меньше всего **the most** - больше всего **the farthest/furthest** - самый дальний **the oldest/eldest** - самый старый

3. less. the least

Для выражения **меньшей** или **самой низкой степени** качества предмета по сравнению с другими предметами употребляются соответствующие слова **less** – менее и **the least** – наименее, которые ставятся перед прилагательными в форме положительной степени.

Положительная степень	Сравнительная степень	Превосходная степень
beautiful – красивый **interesting -** интересный **important** - важный	**less beautiful** - менее красивый **less interesting –** менее интересный **less important** - менее важный	**the least beautiful –** самый некрасивый **the least interesting –** самый неинтересный **the least important –** самый неважный

Другие средства сравнения двух предметов или лиц

Конструкция	Комментарий	Примеры
As…as (такой же, так же)	**Для сравнения двух объектов одинакового качества**	He is **as** a strong **as** a lion Он такой же сильный, как лев. She is **as** clever **as** an owl**.** Она такая же умная, как сова.
Not so…as (не такой, как)	**в отрицательных предложениях**	He is **not so** strong **as** a lion. Он не такой сильный, как лев**.** She is **not so** clever **as** an owl. Она не такая умная, как сова.
The…the (с двумя сравнительными степенями)	**показывает зависимость одного действия от другого**	**The more** we are together **the happier** we are. Чем больше времени мы проводим вместе, тем счастливее мы становимся. **The more** I learn this rule **the less** I understand it. Чем больше я учу это правило, тем меньше я его понимаю.

Особые замечания об употреблении сравнительных и превосходных степеней имен прилагательных:

- Сравнительная степень может быть усилена употреблением перед ней слов со значением **«гораздо, значительно»:**

His new book is **much more** interesting than previous one. *Его новая книга гораздо более интересная, чем предыдущая.*

This table **is more** comfortable than **that one**. *Этот стол более удобный чем тот.*

- После союзов **than** и **as** используются либо личное местоимение в именительном падеже с глаголом, либо личное местоимение в объектном падеже:

I can run **as** fast **as** him **(as he can).** *Я могу бегать так же быстро, как он.*

Числительное. The numeral

Перед **сотнями, тысячами, миллионами** обязательно называть их количество, даже если всего одна сотня или одна тысяча:

126 – one hundred twenty six

1139 – one thousand one hundred and thirty nine

В составе числительных – сотни, тысячи и миллионы не имеют окончания множественного числа: **two hundred – 200, three thousand – 3000, и т.д.**

НО: окончание множественного числа добавляется hundred, thousand, million, когда они выражают неопределенное количество сотен, тысяч, миллионов. В этом случае после них употребляется существительное с предлогом **"of":**

hundreds of children – сотни детей

thousands of birds- тысячи птиц

millions of insects – миллионы насекомых

Начиная с 21, числительные образуются так же как в русском языке:

20+1=21 (twenty + one = **twenty one**)

60+7=67 (sixty + seven = **sixty seven**) и т.д.

Как читать даты

1043	ten forty-three
1956	nineteen fifty-six
1601	sixteen o one
2003	two thousand three
В 2003 году	in two thousand three
1 сентября	the first of September
23 февраля	the twenty-third of February

ДРОБНЫЕ ЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ (FRACTIONAL NUMERALS)

В простых дробях (Common Fractions) числитель выражается количественным числительным, а знаменатель порядковым:

1/7- one seventh одна седьмая

При чтении простых дробей, если числитель их больше единицы, к знаменателю прибавляется окончание множественного числа -s:

2/4 - two fourths - две четвертых

2/3 -two thirds - две третьих

3 1/5 - three and one fifth - три целых и одна пятая

1/2 - one second, a second, one half, a half - одна вторая, половина

1/4 -one fourth, a fourth, one quarter, a quarter - одна четвертая, четверть

В десятичных дробях (Decimal Fractions) целое число отделяется точкой, и каждая цифра читается отдельно. Нуль читается nought [no:t] (в США - zero ['zierou]).

4.25 four point twenty-five; four point two five

0.43 nought point forty-three; nought point four three

Существительные, следующие за дробью, имеют форму единственного числа, и перед ними при чтении ставится предлог -of:

2/3 metre- two thirds of a metre

две третьих метра

0.05 ton - nought point nought five of a ton

ноль целых пять сотых тонны

Существительные, следующие за смешанным числом, имеют форму множественного числа и читаются без предлога of:

35 1 /9 tons -thirty-five and one ninth tons

14.65 metres -one four (или fourteen) point six five (или sixty-five) metres

В обозначениях номеров телефонов каждая цифра читается отдельно, нуль здесь читается [ou]:
224-58-06 ['tu:'tu:'fo:'faiv'eit'ou'siks]

Образование видовременных форм глагола в активном залоге

Present Simple употребляется для выражения:

1. постоянных состояний,

2. повторяющихся и повседневных действий (часто со следующими наречиями: always, never, usually и т.д.). Mr Gibson is a businessman. He lives in New York, (постоянное состояние) He usually starts work at 9 am. (повседневное действие) He often stays at the office until late in the evening, (повседневное действие)

3. непреложных истин и законов природы, The moon moves round the earth.

4. действий, происходящих по программе или по расписанию (движение поездов, автобусов и т.д.). The bus leaves in ten minutes.

Маркерами present simple являются: usually, always и т.п., every day / week / month / year и т.д., on Mondays I Tuesdays и т.д., in the morning / afternoon / evening, at night / the weekend и т.д.

Present Continuous употребляется для выражения:

1. действий, происходящих в момент речи He is reading a book right now.

2. временных действий, происходящих в настоящий период времени, но не обязательно в момент речи She is practising for a concert these days. (В данный момент она не играет. Она отдыхает.)

3. действий, происходящих слишком часто и по поводу которых мы хотим высказать раздражение или критику (обычно со словом "always") "You're always interrupting me!"(раздражение)

4. действии, заранее запланированных на будущее. He is flying to Milan in an hour. (Это запланировано.)

Маркерами present continuous являются: now, at the moment, these days, at present, always, tonight, still и т.д.

Во временах **группы Continuous** обычно **не употребляются** глаголы:

1. выражающие восприятия, ощущения (see, hear, feel, taste, smell), Например: This cake tastes delicious. (Но не: This cake is tasting delicious)

2. выражающие мыслительную деятельность [know, think, remember, forget, recognize(ze), believe, understand, notice, realise(ze), seem, sound и др.],
Например: I don't know his name.

3. выражающие эмоции, желания (love, prefer, like, hate, dislike, want и др.), Например: Shirley loves jazz music.

4. include, matter, need, belong, cost, mean, own, appear, have (когда выражает принадлежность) и т.д. Например: That jacket costs a tot of money. (Но не: That jacket is costing a lot of money.)

Present perfect употребляется для выражения:

1. действий, которые произошли в прошлом в неопределенное время. Конкретное время действия не важно, важен результат, Kim has bought a new mobile phone. (Когда она его купила? Мы это не уточняем, поскольку это не важно. Важного, что у нее есть новый мобильный телефон.)

2. действий, которые начались в прошлом и все еще продолжаются в настоящем, We has been a car salesman since /990. (Он стал продавцом автомобилей в 1990 году и до сих пор им является.)

3. действий, которые завершились совсем недавно и их результаты все еще ощущаются в настоящем. They have done their shopping. (Мы видим, что они только что сделали покупки, поскольку они выходят из супермаркета с полной тележкой.)

4. Present perfect simple употребляется также со словами "today", "this morning / afternoon" и т.д., когда обозначенное ими время в момент речи еще не истекло. He has made ten photos this morning. (Сейчас утро. Указанное время не истекло.)

К маркерам present perfect относятся: for, since, already, just, always, recently, ever, how long, yet, lately, never, so far, today, this morning/ afternoon / week / month / year и т.д.

Present perfect continuous употребляется для выражения:

1. действий, которые начались в прошлом и продолжаются в настоящее время He has been painting the house for three days. (Он начал красить дом три дня назад и красит его до сих пор.)

2. действий, которые завершились недавно и их результаты заметны (очевидны) сейчас. They're tired. They have been painting the garage door all morning. (Они только что закончили красить. Результат их действий очевиден. Краска на дверях еще не высохла, люди выглядят усталыми.)

Примечание.

1. С глаголами, не имеющими форм группы Continuous, вместо present perfect continuous употребляется present perfect simple. Например: I've known Sharon since we were at school together. (А не: I've been knowing Sharon since we were at school together.)

2. С глаголами live, feel и work можно употреблять как present perfect continuous, так и present perfect simple, при этом смысл предложения почти не изменяется.

Например: He has been living/has lived here since 1994.

К маркерам present perfect continuous относятся: for. since. all morning/afternoon/week/day и т.д., how long (в вопросах).

Past simple употребляется для выражения:

1. действий, произошедших в прошлом в определенное указанное время, то есть нам известно, когда эти действия произошли, They graduated four years ago. (Когда они закончили университет? Четыре года назад. Мы знаем время.)

2. повторяющихся в прошлом действий, которые более не происходят. В этом случае могут использоваться наречия частоты (always, often, usually и т.д.), He often played football with his dad when he was five. (Но теперь он уже не играет в футбол со своим отцом.) Then they ate with their friends.

3. действий, следовавших непосредственно одно за другим в прошлом.

They cooked the meal first.

4. Past simple употребляется также, когда речь идет о людях, которых уже нет в живых. Princess Diana visited a lot of schools.

Маркерами past simple являются: yesterday, last night / week / month / year I Monday и т.д., two days I weeks I months I years ago, then, when, in 1992 и т.д.

People used to dress differently in the past. Women used to wear long dresses. Did they use to carry parasols with them? Yes, they did. They didn't use to go out alone at night.

• **Used to** (+ основная форма глагола) употребляется для выражения привычных, повторявшихся в прошлом действий, которые сейчас уже не происходят. Эта конструкция не изменяется по лицам и числам. Например: Peter used to eat a lot of sweets. (= Peter doesn't eat many sweets any more.) Вопросы и отрицания строятся с помощью did / did not (didn't), подлежащего и глагола "use" без -d.

Например: Did Peter use to eat many sweets? Mary didn't use to stay out late.

Вместо "used to" можно употреблять past simple, при этом смысл высказывания не изменяется. Например: She used to live in the countryside. = She lived in the countryside.

Отрицательные и вопросительные формы употребляются редко.

Past continuous употребляется для выражения:

1. временного действия, продолжавшегося в прошлом в момент, о котором мы говорим. Мы не знаем, когда началось и когда закончилось это действие, At three o'clock yesterday

afternoon Mike and his son were washing the dog. (Мы не знаем, когда они начали и когда закончили мыть собаку.)

2. временного действия, продолжавшегося в прошлом (longer action) в момент, когда произошло другое действие (shorter action). Для выражения второго действия (snorter action) мы употребляем past simple, He was reading a newspaper when his wife came, (was reading = longer action: came = shorter action)

3. двух и более временных действий, одновременно продолжавшихся в прошлом. The people were watching while the cowboy was riding the bull.

4. Past continuous употребляется также для описания обстановки, на фоне которой происходили события рассказа (повествования). The sun was shining and the birds were singing. Tom was driving his old truck through the forest.

Маркерами past continuous являются: while, when, as, all day / night / morning и т.д.
when/while/as + past continuous (longer action) when + past simple (shorter action)

Past perfect употребляется:

1. для того, чтобы показать, что одно действие произошло раньше другого в прошлом. При этом то действие, которое произошло раньше, выражается past perfect simple, а случившееся позже - past simple,
They had done their homework before they went out to ptay yesterday afternoon. (=They did their homework first and then they went out to ptay.)

2. для выражения действий, которые произошли до указанного момента в прошлом,
She had watered all the flowers by five o'clock in the afternoon.
(=She had finished watering the flowers before five o'clock.)

3. как эквивалент present perfect simple в прошлом. То есть, past perfect simple употребляется для выражения действия, которое началось и закончилось в прошлом, а present perfect simple - для действия, которое началось в прошлом и продолжается (или только что закончилось) в настоящем. Например: Jill wasn't at home. She had gone out. (Тогда ее не было дома.) ЛИ isn 't at home. She has gone out. (Сечас ее нет дома.)

К маркерам past perfect simple относятся: before, after, already, just, till/until, when, by, by the time и т.д.

Future simple употребляется:

1. для обозначения будущих действий, которые, возможно, произойдут, а возможно, и нет, We'll visit Disney World one day.

2. для предсказаний будущих событий (predictions), Life will be better fifty years from now.

3. для выражения угроз или предупреждений (threats / warnings), Stop or I'll shoot.

4. для выражения обещаний (promises) и решений, принятых в момент речи (on-the-spot decisions), I'll help you with your homework.

5. с глаголами hope, think, believe, expect и т.п., с выражениями I'm sure, I'm afraid и т.п., а также с наречиями probably, perhaps и т.п. / think he will support me. He will probably go to work.

К маркерам future simple относятся: tomorrow, the day after tomorrow, next week I month / year, tonight, soon, in a week / month year и т.д.

ПРИМЕЧАНИЕ

Future simple не употребляется после слов while, before, until, as soon as, after, if и when в придаточных предложениях условия и времени. В таких случаях используется present simple. Например: I'll make a phone call while I wait for you. (А не:... whilo I will wait for you.) Please phone me when you finish work.

В дополнительных придаточных предложениях после "when" и "if" возможно употребление future simple. Например: I don't know when I if Helen will be back.

He is going to throw the ball.

Be going to употребляется для:

1. выражения заранее принятых планов и намерений на будущее,
Например: Bob is going to drive to Manchester tomorrow morning.

2. предсказаний, когда уже есть доказательства того, что они сбудутся в близком будущем. Например: Look at that tree. It is going to fall down.

We use the **future continuous**:

a) for an action which will be in progress at a stated for an action which will be future time. *This time next week, we'll be cruising round the islands.*

b) for an action which will definitely happen in the future as the result of a routine or arrangement. *Don't call Julie. I'll be seeing her later, so I'll pass the message on.*

c) when we ask politely about someone's plans for the near future (what we want to know is if our wishes fit in with their plans.) *Will you be using the photocopier for long?*
No. Why?
I need to make some photocopies.

We use the **future perfect**:

1. For an action which will be finished before a stated future time. *She will have delivered all the newspapers by 8 o'clock.*

2. The future perfect is used with the following time expressions: before, by, by then, by the time, until/till.

We use the **future perfect continuous**:

1. to emphasize the duration of an action up to a certain time in the future. *By the end of next month, she will have been teaching for twenty years.*

The future perfect continuous is used with: by... for.

Практическая работа также направлена на проверку сформированности грамматического навыка в рамках тем: модальные глаголы и их эквиваленты, образование видовременных форм глагола в пассивном залоге, основные сведения о согласовании времён, прямая и косвенная речь, неличные формы глагола: инфинитив, причастия, герундий, основные сведения о сослагательном наклонении.

Распределение выше указанных тем в учебнике:

- Агабекян И. П. Английский язык для бакалавров: учебное пособие для студентов вузов / И. П. Агабекян. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. - 384 с.: ил. - (Высшее образование) (200 экз. в библиотеке УГГУ) и учебнике:

- Журавлева Р.И. Английский язык: учебник: для студентов горно-геологических специальностей вузов / Р. И. Журавлева. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. - 508 с. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 502 (192 экз. в библиотеке УГГУ) представлено в таблице:

Название темы	***Страницы учебников***	
	Агабекян И. П.	*Журавлева Р.И.*
Модальные глаголы и их эквиваленты	295	47
Образование видовременных форм глагола в пассивном залоге	236	71, 115
Основные сведения о согласовании времён	323-328	269
Прямая и косвенная речь	324	268
Неличные формы глагола: инфинитив, причастия, герундий	311-322	132, 162, 173, 192, 193
Основные сведения о сослагательном наклонении	329	224

Модальные глаголы

Глаголы	**Значение**	**Примеры**
CAN	физическая или умственная возможность/умение	I can swim very well. – Я очень хорошо умею плавать.
	возможность	You can go now. — Ты можешь идти сейчас.You cannot play

		football in the street. – На улице нельзя играть в футбол.
	вероятность	They can arrive any time. – Они могут приехать в любой момент.
	удивление	Can he have said that? – Неужели он это сказал?
	сомнение, недоверчивость	She can't be waiting for us now. – Не может быть, чтобы она сейчас нас ждала.
	разрешение	Can we go home? — Нам можно пойти домой?
	вежливая просьба	Could you tell me what time it is now? – Не могли бы вы подсказать, который сейчас час?
MAY	разрешение	May I borrow your book? – Я могу одолжить у тебя книгу?
	предположение	She may not come. – Она, возможно, не придет.
	возможность	In the museum you may see many interesting things. – В музее вы можете увидеть много интересных вещей.
	упрек – только **MIGHT (+ perfect infinitive)**	You might have told me that. – Ты мог бы мне это сказать.
MUST	обязательство, необходимость	He must work. He must earn money. – Он должен работать. Он должен зарабатывать деньги.
	вероятность (сильная степень)	He must be sick. — Он, должно быть, заболел.
	запрет	Tourists must not feed animals in the zoo. — Туристы не должны кормить животных в зоопарке.
SHOULD OUGHT TO	моральное долженствование	You ought to be polite. – Вы должны быть любезными.
	совет	You should see a doctor. – Вам следует сходить к врачу.
	упрек, запрет	You should have taken the umbrella. – Тебе следовало взять с собой зонт.
SHALL	указ, обязанность	These rules shall apply in all circumstances. – Эти правила будут действовать при любых обстоятельствах.
	угроза	You shall suffer. — Ты будешь страдать.
	просьба об указании	Shall I open the window? – Мне открыть окно?
WILL	готовность, нежелание/отказ	The door won't open. — Дверь не открывается.
	вежливая просьба	Will you go with me? – Ты сможешь пойти со мной?
WOULD	готовность, нежелание/отказ	He would not answer this question. – Он не будет отвечать на этот вопрос.
	вежливая просьба	Would you please come with me? — Не могли бы вы пройти со мной.
	повторяющееся/привычное действие	We would talk for hours. – Мы беседовали часами.
NEED	необходимость	Do you need to work so hard? – Тебе надо столько работать?
NEEDN'T	отсутствие необходимости	She needn't go there. — Ей не нужно туда идти.
DARE	Посметь	How dare you say that? – Как ты смеешь такое говорить?

Модальные единицы эквивалентного типа		
to be able (to) = can	Возможность соверш-я конкрет-го дей-ия в опред. момент	She **was able** to change the situation then. (Она тогда была в состоянии (могла) изменить ситуацию).
to be allowed (to) = may	Возмож-ть совер-ия дей-ия в наст.-м, прош-ом или буд-ем + оттенок разрешения	My sister **is allowed to** play outdoors. (Моей сестре разрешается играть на улице).
to have (to)= ought, must, should	Необходимость совер-я дей-я в наст.-м, прош-ом или буд-ем при опред-х об-вах	They **will have to** set up in business soon. (Им вскоре придется открыть свое дело).
to be (to)= ought, must, should	Необходимость совер-я дей-я в наст.-м, прош-ом при наличии опред. планов, распис-ий и т.д.	We **are to** send Nick about his business. (Мы должны (= планируем) выпроводить Ника)

Страдательный залог (Passive Voice)

образуется при помощи вспомогательного глагола to be в соответствующем времени, лице и числе и причастия прошедшего времени смысл. глагола – Participle II (III –я форма или ed-форма).

В страдательном залоге не употребляются:

1) Непереходные глаголы, т.к. при них нет объекта, который испытывал бы воздействие, то есть нет прямых дополнений которые могли бы стать подлежащими при глаголе в форме Passive.

Переходными в англ. языке называются глаголы, после которых в действительном залоге следует прямое дополнение; в русском языке это дополнение, отвечающее на вопросы винительного падежа – кого? что?: to build строить, to see видеть, to take брать, to open открывать и т.п.

Непереходными глаголами называются такие глаголы, которые не требуют после себя прямого дополнения: to live жить, to come приходить, to fly летать, cry плакать и др.

2) Глаголы-связки: be – быть, become – становиться/стать.

3) Модальные глаголы.

4) Некоторые переходные глаголы не могут использоваться в страдательном залоге. В большинстве случаев это глаголы состояния, такие как:

to fit годиться, быть впору to have иметь to lack не хватать, недоставать to like нравиться
to resemble напоминать, быть похожим to suit годиться, подходить и др.

При изменении глагола из действительного в страдательный залог меняется вся конструкция предложения:

- дополнение предложения в Active становится подлежащим предложения в Passive;
- подлежащее предложения в Active становится предложным дополнением, которое вводится предлогом by или вовсе опускается;
- сказуемое в форме Active становится сказуемым в форме Passive.

Особенности употребления форм Passive:

1. Форма Future Continuous не употребляется в Passive, вместо нее употребляется Future Indefinite:

At ten o'clock this morning Nick will be writing the letter. –At ten o'clock this morning the letter will be written by Nick.

2. В Passive нет форм Perfect Continuous, поэтому в тех случаях, когда нужно передать в Passive действие, начавшееся до какого-то момента и продолжающееся вплоть до этого момента, употребляются формы Perfect:

He has been writing the story for three months. The story has been written by him for three months.

3. Для краткости, во избежание сложных форм, формы Indefinite (Present, Past, Future) часто употребляются вместо форм Perfect и Continuous, как в повседневной речи так и в художественной литературе. Формы Perfect и Continuous чаще употребляются в научной литературе и технический инструкциях.

This letter has been written by Bill. (Present Perfect)
This letter is written by Bill. (Present Indefinite – более употребительно)
Apples are being sold in this shop. (Present Continuous)
Apples are sold in this shop. (Present Indefinite – более употребительно)

4. Если несколько однотипных действий относятся к одному подлежащему, то вспомогательные глаголы обычно употребляются только перед первым действием, например: The new course will be sold in shops and ordered by post.

Прямой пассив (The Direct Passive)

Это конструкция, в которой подлежащее предложения в Passive соответствует прямому дополнению предложения в Active. Прямой пассив образуется от большинства переходных глаголов.

I gave him a book. Я дал ему книгу. A book was given to him. Ему дали книгу. (или Книга была дана ему)

The thief stole my watch yesterday. Вор украл мои часы вчера.
My watch was stolen yesterday. Мои часы были украдены вчера.

В английском языке имеется ряд переходных глаголов, которые соответствуют непереходным глаголам в русском языке. В английском они могут употребляться в прямом пассиве, а в русском – нет. Это:to answer отвечать кому-л.
to believe верить кому-л. to enter входить (в) to follow следовать (за) to help помогать кому-л.
to influence влиять (на) to join присоединяться to need нуждаться to watch наблюдать (за)

Так как соответствующие русские глаголы, являясь непереходными, не могут употребляться в страдательном залоге, то они переводятся на русский язык глаголами в действительном залоге:
Winter is followed by spring.

А при отсутствии дополнения с предлогом by переводятся неопределенно-личными предложениями: Your help is needed.

Косвенный пассив (The Indirect Passive)

Это конструкция, в которой подлежащее предложения в Passive соответствует косвенному дополнению предложения в Active. Она возможна только с глаголами, которые могут иметь и прямое и косвенное дополнения в действительном залоге. Прямое дополнение обычно означает предмет (что?), а косвенное – лицо (кому?).

С такими глаголами в действительном залоге можно образовать две конструкции:

а) глагол + косвенное дополнение + прямое дополнение;

б) глагол + прямое дополнение + предлог + косвенное дополнение:

а) They sent Ann an invitation.- Они послали Анне приглашение.
б) They sent an invitation to Ann. - Они послали приглашение Анне.

В страдательном залоге с ними также можно образовать две конструкции – прямой и косвенный пассив, в зависимости от того, какое дополнение становится подлежащим предложения в Passive. К этим глаголам относятся:to bring приносить
to buy покупать to give давать to invite приглашать to leave оставлять
to lend одалживать to offer предлагать to order приказывать to pay платить
to promise обещать to sell продавать to send посылать to show показывать
to teach учить to tell сказать и др.
Например: Tom gave Mary a book. Том дал Мэри книгу.
Mary was given a book. Мэри дали книгу. (косвенный пассив – более употребителен)
A book was given to Mary. Книгу дали Мэри. (прямой пассив – менее употребителен)

Выбор между прямым или косвенным пассивом зависит от смыслового акцента, вкладываемого в последние, наиболее значимые, слова фразы:
John was offered a good job. (косвенный пассив) Джону предложили хорошую работу.
The job was offered to John. (прямой пассив) Работу предложили Джону.

Глагол to ask спрашивать образует только одну пассивную конструкцию – ту, в которой подлежащим является дополнение, обозначающее лицо (косвенный пассив):
He was asked a lot of questions. Ему задали много вопросов.

Косвенный пассив невозможен с некоторыми глаголами, требующими косвенного дополнения (кому?) с предлогом to. Такое косвенное дополнение не может быть подлежащим в Passive, поэтому в страдательном залоге возможна только одна конструкция – прямой пассив, то есть вариант: Что? объяснили, предложили, повторили…Кому? Это глаголы:to address адресовать
to describe описывать to dictate диктовать to explain объяснять to mention упоминать
to propose предлагать to repeat повторять to suggest предлагать to write писать и др.

Например: The teacher explained the rule to the pupils. – Учитель объяснил правило ученикам. The rule was explained to the pupils. – Правило объяснили ученикам. (Not: The pupils was explained…)

Употребление Страдательного залога

В английском языке, как и в русском, страдательный залог употр. для того чтобы:

1. Обойтись без упоминания исполнителя действия (70% случаев употребления Passive) в тех случаях когда:

а) Исполнитель неизвестен или его не хотят упоминать:
He was killed in the war. Он был убит на войне.

б) Исполнитель не важен, а интерес представляет лишь объект воздействия и сопутствующие обстоятельства:
The window was broken last night. Окно было разбито прошлой ночью.

в) Исполнитель действия не называется, поскольку он ясен из ситуации или контекста:
The boy was operated on the next day. Мальчика оперировали на следующий день.

г) Безличные пассивные конструкции постоянно используются в научной и учебной литературе, в различных руководствах: The contents of the container should be kept in a cool dry place. Содержимое упаковки следует хранить в сухом прохладном месте.

2. Для того, чтобы специально привлечь внимание к тому, кем или чем осуществлялось действие. В этом случае существительное (одушевленное или неодушевленное.) или местоимение (в объектном падеже) вводится предлогом by после сказуемого в Passive.

В английском языке, как и в русском, смысловой акцент приходится на последнюю часть фразы. He quickly dressed. Он быстро оделся.

Поэтому, если нужно подчеркнуть исполнителя действия, то о нем следует сказать в конце предложения. Из-за строгого порядка слов английского предложения это можно осуществить лишь прибегнув к страдательному залогу. Сравните:
The flood broke the dam. (Active) Наводнение разрушило плотину. (Наводнение разрушило что? – плотину)
The dam was broken by the flood. (Passive) Плотина была разрушена наводнением. (Плотина разрушена чем? – наводнением)

Чаще всего используется, когда речь идет об авторстве:
The letter was written by my brother. Это письмо было написано моим братом.

И когда исполнитель действия является причиной последующего состояния:
The house was damaged by a storm. Дом был поврежден грозой.

Примечание: Если действие совершается с помощью какого-то предмета, то употребляется предлог with, например:
He was shot with a revolver. Он был убит из револьвера.

Перевод глаголов в форме Passive

В русском языке есть три способа выражения страдательного залога:

1. При помощи глагола "быть" и краткой формы страдательного причастия, причем в настоящем времени "быть" опускается:
I am invited to a party.
Я приглашён на вечеринку.

Иногда при переводе используется обратный порядок слов, когда русское предложение начинается со сказуемого: New technique has been developed. Была разработана новая методика.

2. Глагол в страдательном залоге переводится русским глаголом, оканчивающимся на –ся(-сь):
Bread is made from flour. Хлеб делается из муки.
Answers are given in the written form. Ответы даются в письменном виде.

3. Неопределенно-личным предложением (подлежащее в переводе отсутствует; сказуемое стоит в 3-м лице множественного числа действительного залога). Этот способ перевода возможен только при отсутствии дополнения с предлогом by (производитель действия не упомянут):

The book is much spoken about. Об этой книге много говорят.
I was told that you're ill. Мне сказали, что ты болен.

4. Если в предложении указан субъект действия, то его можно перевести личным предложением с глаголом в действительном залоге (дополнение с by при переводе становится подлежащим). Выбор того или иного способа перевода зависит от значения глагола и всего предложения в целом (от контекста):
They were invited by my friend. Их пригласил мой друг.(или Они были приглашены моим другом.)

Примечание 1: Иногда страдательный оборот можно перевести двумя или даже тремя способами, в зависимости от соответствующего русского глагола и контекста:
The experiments were made last year.
1) Опыты были проведены в прошлом году.
2) Опыты проводились в прошлом году.
3) Опыты проводили в прошлом году.

Примечание 2: При переводе нужно учитывать, что в английском языке, в отличие от русского, при изменении залога не происходит изменение падежа слова, стоящего перед глаголом (например в английском she и she, а переводим на русский - она и ей):

Примечание 3: Обороты, состоящие из местоимения it с глаголом в страдательном залоге переводятся неопределенно-личными оборотами:
It is said… Говорят… It was said… Говорили…
It is known… Известно… It was thought…Думали, полагали…
It is reported… Сообщают… It was reported…Сообщали…и т.п.

В таких оборотах it играет роль формального подлежащего и не имеет самостоятельного значения: It was expected that he would return soon. Ожидали, что он скоро вернется.

Согласование времен (Sequence of Tenses)

Если в главном предложении сказуемое выражено глаголом в одной из форм прошедшего времени, то в придаточном предложении употребление времен ограничено. Правило, которому в этом случае подчиняется употребление времен в придаточном предложении, называется согласованием времен.

Правило 1: Если глагол главного предложения имеет форму настоящего или будущего времени, то глагол придаточного предложения будет иметь любую форму, которая требуется смыслом предложения. То есть никаких изменений не произойдет, согласование времен здесь в силу не вступает.

Правило 2: Если глагол главного предложения имеет форму прошедшего времени (обычно Past Simple), то глагол придаточного предложения должен быть в форме одного из прошедших времен. То есть в данном случае время придаточного предложения изменится. Все эти изменения отражены в нижеследующей таблице:

Переход из одного времени в другое	Примеры	
Present Simple » Past Simple	He **can speak** French – Он говорит по-французски.	Boris said that he **could speak** French – Борис сказал, что он говорит по-французски.
Present Continuous » Past Continuous	They **are listening** to him – Они слушают его	I **thought** they **were listening** to him – Я думал, они слушают его.
Present Perfect » Past Perfect	Our teacher **has asked** my parents to help him – Наш учитель попросил моих родителей помочь ему.	Mary **told** me that our teacher **had asked** my parents to help him – Мария сказала мне, что наш учитель попросил моих родителей помочь ему.
Past Simple » Past Perfect	I **invited** her – Я пригласил ее.	Peter **didn't know** that I **had invited** her – Петр не знал, что я

		пригласил ее.
Past Continuous » Past Perfect Continuous	She **was crying** – Она плакала	John **said** that she **had been crying** – Джон сказал, что она плакала.
Present Perfect Continuous » Past Perfect Continuous	It **has been raining** for an hour – Дождь идет уже час.	He **said** that it **had been raining** for an hour – Он сказал, что уже час шел дождь.
Future Simple » Future in the Past	She **will show** us the map – Она покажет нам карту.	I **didn't expect** she **would show** us the map – Я не ожидал, что она покажет нам карту.

Изменение обстоятельств времени и места при согласовании времен.

Следует запомнить, что при согласовании времен изменяются также некоторые слова (обстоятельства времени и места).

this » that
these » those
here » there
now » then
yesterday » the day before
today » that day
tomorrow » the next (following) day
last week (year) » the previous week (year)
ago » before
next week (year) » the following week (year)

Перевод прямой речи в косвенную в английском языке

Для того чтобы перевести прямую речь в косвенную, нужно сделать определенные действия. Итак, чтобы передать чьи-то слова в английском языке (то есть перевести прямую речь в косвенную), мы:

1. ***Убираем кавычки и ставим слово that***

Например, у нас есть предложение:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Чтобы передать кому-то эти слова, так же как и в русском, мы убираем кавычки и ставим слово that – «что».

She said that ….. Она сказала, что….

2. ***Меняем действующее лицо***

В прямой речи обычно человек говорит от своего лица. Но в косвенной речи мы не может говорить от лица этого человека. Поэтому мы меняем «я» на другое действующее лицо. Вернемся к нашему предложению:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Так как мы передаем слова девушки, вместо «я» ставим «она»:

She said that she ….. Она сказала, что она….

3. Согласовываем время

В английском языке мы не можем использовать в одном предложении прошедшее время с настоящим или будущим. Поэтому, если мы говорим «сказал» (то есть используем прошедшее время), то следующую часть предложения нужно согласовать с этим прошедшем временем. Возьмем наше предложение:

She said, “I will buy a dress”. Она сказала: «Я куплю платье».

Чтобы согласовать первую и вторую части предложения, меняем will на would. *см. таблицу выше.*

She said that she would buy a dress. Она сказала, что она купит платье.

4. Меняем некоторые слова

В некоторых случаях мы должны согласовать не только времена, но и отдельные слова. Что это за слова? Давайте рассмотрим небольшой пример.

She said, “I am driving now”. Она сказала: «Я за рулем сейчас».

То есть она в данный момент за рулем. Однако, когда мы будем передавать ее слова, мы будем говорить не про данный момент (тот, когда мы говорим сейчас), а про момент времени в прошлом (тот, когда она была за рулем). Поэтому мы меняем now (сейчас) на then (тогда) *см. таблицу выше.*

She said that she was driving then. Она сказала, что она была за рулем тогда.

Вопросы в косвенной речи в английском языке

Вопросы в косвенной речи, по сути, не являются вопросами, так как порядок слов в них такой же, как в утвердительном предложении. Мы не используем вспомогательные глаголы (do, does, did) в таких предложениях.

He asked, “Do you like this cafe?” Он спросил: «Тебе нравится это кафе?»

Чтобы задать вопрос в косвенной речи, мы убираем кавычки и ставим if, которые переводятся как «ли». Согласование времен происходит так же, как и в обычных предложениях. Наше предложение будет выглядеть так:

He asked if I liked that cafe. Он спросил, нравится ли мне то кафе.

Давайте рассмотрим еще один пример:

She said, “Will he call back?” Она сказала: «Он перезвонит?»

She said if he would call back. Она сказала, перезвонит ли он.

Специальные вопросы в косвенной речи

Специальные вопросы задаются со следующими вопросительными словами: what – что when – когда how – как why - почему where – где which – который

При переводе таких вопросов в косвенную речь мы оставляем прямой порядок слов (как в утвердительных предложениях), а на место if ставим вопросительное слово.

Например, у нас есть вопрос в прямой речи:

She said, “When will you come?”. Она сказала: «Когда ты придешь?»

В косвенной речи такой вопрос будет выглядеть так:

She said when I would come. Она сказала, когда я приду.

He asked, “Where does she work?” Он спросил: «Где она работает?»

He asked where she worked. Он спросил, где она работает.

Инфинитив. The Infinitive

Инфинитив - это неличная глагольная форма, которая только называет действие и выполняет функции как глагола, так и существительного. Инфинитив отвечает на вопрос что делать?, что сделать?

Формальным признаком инфинитива является частица **to**, которая стоит перед ним, хотя в некоторых случаях она опускается. Отрицательная форма инфинитива образуется при помощи частицы not, которая ставится перед ним: It was difficult not to speak. *Было трудно не говорить.*

Формы инфинитива

	Active Voice	Passive Voice
Simple	to write	to be written
Continuous	to be writing	
Perfect	to have written	to have been written
Perfect Continuous	to have been writing	

Глаголы, после которых используется инфинитив:

to agree - соглашаться
to arrange - договариваться
to ask – (по)просить
to begin – начинать
to continue – продолжать

to decide – решать
to demand - требовать
to desire – желать
to expect – надеяться
to fail – не суметь
to forget – забывать
to hate - ненавидеть
to hesitate – не решаться
to hope - надеяться
to intend – намереваться
to like – любить, нравиться
to love – любить, желать
to manage - удаваться
to mean - намереваться
to prefer - предпочитать
to promise - обещать
to remember – помнить
to seem - казаться
to try – стараться, пытаться
to want – хотеть

Например:

He asked to change the ticket. *Он попросил поменять билет.*
She began to talk. *Она начала говорить.*

Значение разных форм инфинитива в таблице

Формы инфинитива	**Чему я рад?**	
Simple	I am glad **to speak** to you.	Рад поговорить с вами. (Всегда радуюсь, когда говорю с вами).
Continuous	I am glad **to be speaking** to you.	Рад, что сейчас разговариваю с вами.
Perfect	I am glad **to have spoken** to you.	Рад, что поговорил с вами.
Perfect Continuous	I am glad **to have been speaking** to you.	Рад, что уже давно (все это время) разговариваю с вами.
Simple Passive	I am (always) glad **to be told** the news.	Всегда рад, когда мне рассказывают новости.
Perfect Passive	I am glad **to have been told** the news.	Рад, что мне рассказали новости.

Причастие. Participle

В английском языке причастие — это неличная форма глагола, которая сочетает в себе признаки глагола, прилагательного и наречия.

Формы причастия

		Active (Активный залог)	Passive (Пассивный залог)
Participle I (Present Participle)	Simple	**writing**	**being written**
	Perfect	**having written**	**having been written**
Participle II (Past Participle)			**written**

Отрицательные формы причастия образуются с помощью частицы **not**, которая ставится перед причастием: not asking — не спрашивая,not broken — не разбитый.

Как переводить разные формы причастия на русский язык

Формы причастия	причастием	деепричастием
reading	читающий	читая

having read		прочитав
being read	читаемый	будучи читаемым
having been read		будучи прочитанным
read	прочитанный	
building	строящий	строя
having built		построив
being built	строящийся	будучи строящимся
having been built		будучи построенным
built	построенный	

Герундий. Gerund

Герундий — это неличная форма глагола, которая выражает название действия и сочетает в себе признаки глагола и существительного. Соответственно, на русский язык герундий обычно переводится существительным или глаголом (чаще неопределенной формой глагола). Формы, подобной английскому герундию, в русском языке нет.

My favourite occupation is reading. *Мое любимое занятие — чтение.*

Формы герундия

	Active (Активный залог)	Passive (Пассивный залог)
Simple	**writing**	**being written**
Perfect	**having written**	**having been written**

Запомните глаголы, после которых употребляется только герундий!

admit (признавать), advise (советовать), avoid (избегать),
burst out (разразиться), delay (задерживать), deny (отрицать),
dislike (не нравиться), enjoy (получать удовольствие), escape (вырваться, избавиться),
finish (закончить), forgive (прощать), give up (отказываться, бросать),
keep on (продолжать), mention (упоминать), mind (возражать - только в “?”и “-“),
miss (скучать), put off (отложить), postpone (откладывать),
recommend (рекомендовать), suggest (предлагать), understand (понимать).

Герундий после глаголов с предлогами

accuse of (обвинять в), agree to (соглашаться с), blame for (винить за),
complain of (жаловаться на), consist in (заключаться в), count on /upon (рассчитывать на),
congratulate on (поздравлять с), depend on (зависеть от), dream of (мечтать о),
feel like (хотеть, собираться), hear of (слышать о), insist on (настаивать на),
keep from (удерживать(ся) от), look forward to (с нетерпением ждать, предвкушать),
look like (выглядеть как), object to (возражать против),
persist in (упорно продолжать), praise for (хвалить за), prevent from (предотвращать от),
rely on (полагаться на), result in (приводить к), speak of, succeed in (преуспевать в),
suspect of (подозревать в), thank for (благодарить за), think of (думать о)

He has always dreamt of visiting other countries. — *Он всегда мечтал о том, чтобы побывать в других странах.*

to be + прилагательное / причастие + герундий

be afraid of (бояться чего-либо), be ashamed of (стыдиться чего-либо),
be engaged in (быть занятым чем-либо), be fond of (любить что-либо, увлекаться чем-либо),
be good at (быть способным к), be interested in (интересоваться чем-либо),
be pleased at (быть довольным), be proud of (гордиться чем-либо),
be responsible for (быть ответственным за), be sorry for (сожалеть о чем-либо),
be surprised at (удивляться чему-либо), be tired of (уставать от чего-либо),
be used to (привыкать к).

I’m tired of waiting. — *Я устал ждать.*

Основные сведения о сослагательном наклонении

Conditionals are clauses introduced with if. There are three types of conditional clause: Type 1, Type 2 and Type 3. There is also another common type, Type 0.

Type 0 Conditionals: They are used to express something which is always true. We can use when (whenever) instead of it. *If/When the sun shines, snow melts.*

Type 1 Conditionals: They are used to express real or very probable situations in the present or future. *If he doesn't study hard, he won't pass his exam.*

Type 2 Conditionals: They are used to express imaginary situations which are contrary to facts in the present and, therefore, are unlikely to happen in the present or future. *Bob is daydreaming. If I won the lottery, I would buy an expensive car and I would go on holiday to a tropical island next summer.*

Type 3 Conditionals: They are used to express imaginary situations which are contrary to facts in the past. They are also used to express regrets or criticism. *John got up late, so he missed the bus. If John hadn't got up late, he wouldn't have missed the bus.*

	If-clause (hypothesis)	Main clause (result)	Use
Type 0 general truth	if + present simple	present simple	something which is always true
	If the temperature falls below 0 °C, water turns into ice.		
Type 1 real present	if + present simple, present continuous, present perfect or present perfect continuous	future/imperative can/may/might/must/should/ could + bare infinitive	real - likely to happen in the present or future
	If he doesn't pay the fine, he will go to prison. If you need help, come and see me. If you have finished your work, we can have a break. If you're ever in the area, you should come and visit us.		
Type 2 unreal present	if + past simple or past continuous	would/could/might + bare infinitive	imaginary situation contrary to facts in the present; also used to give advice
	If I had time, I would take up a sport. (but I don't have time - untrue in the present) If I were you, I would talk to my parents about it. (giving advice)		
Type 3 unreal past	if + past perfect or past perfect continuous	would/could/might + have + past participle	imaginary situation contrary to facts in the past; also used to express regrets or criticism
	If she had studied harder, she would have passed the test. If he hadn't been acting so foolishly, he wouldn't have been punished.		

Conditional clauses consist of two parts: the if -clause (hypothesis) and the main clause (result). When the if - clause comes before the main clause, the two clauses are separated with a comma. When the main clause comes before the if - clause, then no comma is necessary.

e.g. a) If I see Tim, I'll give him his book.

b) I'll give Tim his book if I see him.

We do not normally use will, would or should in an if - clause. However, we can use will or would after if to make a polite request or express insistence or uncertainty (usually with expressions such as / don't know, I doubt, I wonder, etc.).

We can use should after if to talk about something which is possible, but not very likely to happen.

e.g. a) If the weather is fine tomorrow, will go camping. (NOT: If the weather will be fine...)

b) If you will fill in this form, I'll process your application. (Will you please fill in... - polite request)

c) If you will not stop shouting, you'll have to leave. (If you insist on shouting... - insistence)

d) I don't know if he will pass his exams, (uncertainty)

e) If Tom should call, tell him I'll be late. (We do not think that Tom is very likely to call.)

We can use unless instead of if... not in the if -clause of Type 1 conditionals. The verb is always in the affirmative after unless.

e.g. Unless you leave now, you'll miss the bus. (If you don't leave now, you'll miss the bus.) (NOT: Unless you don't leave now, ...)

We can use were instead of was for all persons in the if - clause of Type 2 conditionals.

e.g. If Rick was/were here, we could have a party.

We use If I were you ... when we want to give advice.

e.g. If I were you, I wouldn't complain about it.

The following expressions can be used instead of if: provided/providing that, as long as, suppose/supposing, etc.

e.g. a) You can see Mr. Carter provided you have an appointment. (If you have an appointment...)

b) We will all have dinner together providing Mary comes on time. (... if Mary comes ...)

c) Suppose/Supposing the boss came now, …

We can omit if in the if - clause. When if is omitted, should (Type 1), were (Type 2), had (Type 3) and the subject are inverted.

e.g. a) Should Peter come, tell him to wait. (If Peter should come,...)

b) Were I you, I wouldn't trust him. (If I were you, ...)

c) Had he known, he would have called. (If he had known, ...)

2. Чтение и перевод учебных текстов (по 2 текста на тему)

№1

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

appear - v появляться; казаться; *ant* **disappear** - исчезать

bed - *n* пласт, слой, подстилающие породы; *syn* **layer, seam; bedded** - *a* пластовый

call for - v требовать; *syn* **demand, require**

carry out - v проводить *(исследование, эксперимент);* выполнять *(план);* завершать; *syn* **conduct, make**

colliery - каменноугольная шахта

concentration (dressing) plant - обогатительная фабрика, обогатительная установка

department - *n* отделение, факультет, кафедра; *syn* **faculty**

direct - v руководить; направлять; управлять; *a* прямой, точный; **directly** - *adv* прямо, непосредственно

education - *n* образование; просвещение; **get an education** получать образование

establish - v основывать, создавать, учреждать; *syn* **found, set up**

ferrous metals - чёрные металлы **(non-ferrous metals** цветные металлы)

iron - *n* железо; **pig iron** чугун; **cast iron** чугун, чугунная отливка

open-cast mines - открытые разработки

ore - *n* руда; **iron ore** - железная руда; **ore mining** – разработка рудных месторождений

process - v обрабатывать; *syn* **work, treat; processing** - n обработка; разделение минералов

rapid - *a* быстрый

research - *n* научное исследование

technique - *n* техника, способ, метод, технический прием; **mining technique** - горная техника, методы ведения горных работ

train - v обучать, готовить *(к чему-л.);* **training** - обучение; подготовка

to be in need of - нуждаться в

to take part in - участвовать в

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 1: The First Mining School in Russia

The Moscow Mining Academy was established in 1918. The main task of the Academy was to train mining engineers and technicians, to popularize technological achievements among miners, to work on important problems of mining and metallurgical engineering arid to direct scientific research.

There were three departments in the Academy: mining, geological prospecting and metallurgy. The Moscow Mining Academy introduced a new course in coal mining mechanization which provided the basis for the development of mining engineering. The two scientists A.M. Terpigorev and M.M. Protodyakonov wrote the first textbook on machinery for mining bedded deposits.

Much credit for the establishment of the Moscow Mining Academy and the development of co-operation among outstanding scientists and educators is due to Academician I.M. Gubkin, a prominent geologist and oil expert.

In 1925 the Moscow Mining Academy was one of the best-known educational institutions in Russia. It had well-equipped laboratories, demonstration rooms and a library which had many volumes of Russian and foreign scientific books and journals.

The Academy established close contacts with the coal and ore mining industries. The scientists carried out scientific research and worked on important mining problems.

The rapid growth of the mining industry called for the training of more highly-qualified specialists and the establishment of new educational institutions.

New collieries and open-cast mines, concentration plants, metallurgical works and metal-working factories for processing non-ferrous and ferrous metals appeared in the country. The people took an active part in the construction of new industrial enterprises.

The Academy alone could not cope with the problem of training specialists. In 1930 the Moscow Mining Academy was transformed into six independent institutes. Among the new colleges which grew out of the Academy's departments were the Moscow Mining Institute and the Moscow Institute of Geological Prospecting. Later, the scientific research Institute of Mining appeared near Moscow.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. There were four departments in the Academy.
2. The Academy introduced a new course in coal mining mechanization.
3. In 1925 the Academy had only several well-equipped laboratories, demonstration rooms and a library which had many volumes of books.
4. The Academy established close contacts with the coal industry.
5. In 1930 the Academy was transformed into six independent institutes.
6. The Moscow Mining Institute and the Moscow Institute of Geological Prospecting were among the new colleges which grew out of the Academy's departments.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What was the main task of the Academy?
2. What new course did the Academy introduce?
3. Were there three or four departments at the Academy?
4. What industries did the Academy establish contacts with?
5. Who wrote the first textbook on machinery' for mining bedded deposits?
6. Why was the Academy transformed into six independent institutes?
7. Why was the Academy transformed?

3. Переведите следующие сочетания слов.

а) обогатительная фабрика
б) подготовка горных инженеров
в) разведка нефти
г) обработка цветных металлов

д) техническое образование
е) новый (учебный) курс по
ж) принимать активное участие
з) проводить исследования
и) направлять научную деятельность
к) горное оборудование
л) пластовые месторождения

№2

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

change - v изменяться, менять(ся); *syn.* **transform, alter;** *n* изменение, перемена; превращение

determine - v определить, устанавливать

engineering - *n* техника; технология; машиностроение**;** *syn.* **technics, technology, technique; machinery**

composition - *n* структура, состав

connect - v соединяться; *syn* **combine, link**

enterprise - *n* предприятие; предприимчивость

deal (dealt) v **(with) -** иметь дело с; рассматривать

environment - *n* окружающая обстановка**,** среда

demand - *n* спрос

field - *n* область, сфера деятельности; поле, участок, месторождение; бассейн; *syn* **basin, branch**

design - *n* проект; план, чертеж; конструкция; v проектировать, планировать; конструировать

graduate - v окончить (высшее учебное заведение), *амер.* окончить любое учебное заведение; *n* лицо, окончившее высшее учебное заведение; **undergraduate (student) -** студент последнего курса; **postgraduate (student) -** аспирант; **graduation paper -** дипломная работа

hardware - *n* аппаратура, (аппаратное) оборудование, аппаратные средства; техническое обеспечение

hydraulic - *a* гидравлический, гидротехнический

introduction - *n* введение, вступление

management - *n* управление, заведование; *syn.* **administration; direction**

offer - *v* предлагать *(помощь, работу);* предоставлять; *n* предложение

property - *n* свойство

protection - *n* защита, охрана

range - *n* область, сфера; предел; диапазон; радиус действия; ряд; серия

recreation - *n* отдых, восстановление сил; развлечение

reveal - v показывать, обнаруживать

rock - *n* горная порода

shape - *n* форма

software - *n* программное обеспечение; программные средства

skill - *n* мастерство; умение; **skilled -** *a* квалифицированный; опытный; умелый

survey - *n* съемка, маркшейдерская съемка; v производить маркшейдерскую или топографическую съемку, производить изыскания; *n* **surveying** съемка, маркшейдерские работы

value - *n* ценность, стоимость; величина; v ценить, оценивать; **valuable** *a* ценный

workshop - *n* мастерская, цех; семинар

to be of importance - иметь значение

to give an opportunity of - дать возможность

to meet the requirements - удовлетворять требованиям (потребности)

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 2: Mining and Geological Higher Education in Russia

In Russia young people get mining education at special institutes which train geologists and mining engineers for coal and ore mining. The total number of students of an institute includes full-time students, part-time students and postgraduate students.

Russian higher educational establishments offer different specializations for the students. Thus, at the geological institutes, the students specialize in geology, the science which deals with different problems connected with the Earth, its history, the study of rocks, their physical and chemical properties. One of the main tasks of geology is to prospect, discover and study the deposits of useful minerals.

Geology is both a theoretical and an applied science. Mining geology is of great importance to the mining engineer. As a rule, mining geology includes economic geology.

The outstanding Russian geologist V.A. Obruchev says that geology is the science of the Earth which reveals to us how the Earth took shape, its composition and its changes. Geology helps prospect for ores, coal, oil, salt and other useful minerals.

Higher mining schools (universities, academies, institutes and colleges) develop a wide range of courses and programmes that meet the requirements of the society .They offer courses in mining technology, machinery and transport, hydraulic engineering, electrical engineering, industrial electronics, automation, surveying, geodesy, information technology, etc.

The main trend in the development of higher mining education is the introduction of courses in environmental protection, management (environmental human resources), economics and management of mining enterprises, marketing studies, computer-aided design (CAD) and others.

Computer science is also of great importance. The course aims at providing students with understanding how software and hardware technology helps solving problems.

Laboratory work is an important part in training specialists. Experiments in laboratories and workshops will help students to develop their practical skills. They have a short period of field work to gain working experience.

The students go through practical training at mines, plants and other industrial enterprises.. They become familiar with all stages of production and every job from worker to engineer. Here they get practical knowledge and experience necessary for their diploma (graduation) papers.

A lot of students belong to students' scientific groups. They take part in the research projects which their departments usually conduct. Postgraduates carry out research in different fields of science and engineering.

Sport centres give the students opportunities to play different sports such as tennis, football, basketball, volleyball, swimming, ' skiing, water polo, boxing, wrestling and others.

Students graduate from mining and geological higher schools as mining engineers, mining mechanical engineers, ecologists, mining electrical engineers, geologists, economists and managers for mining industry.

1. Переведите следующие сочетания слов.

а) широкий круг проблем
б) денные месторождения полезных ископаемых
в) горный инженер-механик
г) вести научно-исследовательскую работу
д) принимать форму
е) техническое и программное обеспечение
ж) студенты (последнего курса)
з) дипломная работа
и) физические и химические свойства
к) месторождение полезных ископаемых

1. оканчивать институт
2. поступать в университет
3. получать образование

4. готовить геологов и горних инженеров
5. высшие горные учебные заведения
6. приобретать опыт
7. студенческие научные общества
8. заниматься различными видами спорта

№3

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

accurate - *a* точный, правильный; **accuracy** - *n* точность

archive - *n* архив

attend - v посещать *(лекции, практические занятия, собрания)*

comprehensive - *a* всесторонний, исчерпывающий

concern - v касаться, относиться; иметь отношение к чему-л.; *n* дело, отношение; важность; **concerning** *prep* относительно, касательно

consider - v рассматривать; считать; **considerable** - значительный, важный; **consideration** - *n* рассмотрение; обсуждение

draw (drew, **drawn**) - v *зд,* чертить, рисовать; **draw the conclusion** делать вывод; *syn* **come to the conclusion**

employ - v применять, использовать; предоставлять *(работу); syn* **use, utilize, apply; employment** - *n* служба; занятие; применение, использование

familiarize - v знакомить; осваивать

fundamental - *n pl* основы *(наук)*

levelling - *n* нивелирование, сглаживание *(различий);* выравнивание

number - *n* число, количество, большое количество; *(порядковый)* номер, ряд

observe - v наблюдать, следить *(за чём-л.),* соблюдать *(правило, обычаи)*

obtain - v получать; достигать; добывать; *syn* **get, receive**

present - v преподносить, дарить; подавать, представлять; **presentation** - *n* изложение; предъявление

proximity - *n* близость, соседство; **in proximity to** поблизости, вблизи от *(чего-л.)*

require - v требовать; *syn* **call for; demand; meet the requirements** удовлетворять требованиям

traversing - *n* горизонтальная съемка

to keep in close touch with - поддерживать связь с

to touch upon (on) затрагивать, касаться вкратце *(вопроса)*

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 3: Mining Education in Great Britain

In Great Britain the students get mining education at special colleges and at mining departments of universities.

For example, the Mining Department at the University of Nottingham ranks as one of the foremost teaching and research mining schools in Great Britain. The students come to the University from all parts of the country and from abroad. The close proximity of Nottingham to mines extracting coal and different metals makes it possible for the University to keep in close touch with new achievements in mining.

The aim of training at the University is to give the student an understanding of applied science based on lectures, tutorial system, laboratory work and design classes. The laboratory work trains the student in accurate recording of observations, drawing of logical conclusions and presentation of scientific reports. Besides, it gives the student an understanding of experimental methods and familiarizes him (or her) with the characteristics of engineering materials, equipment and machines.

At Nottingham there are two types of laboratories, general and Specialized. General laboratories deal with the fundamentals of engineering science and specialized ones1 study the more specialized problems in different branches of engineering.

During the final two years of his course the student gets a comprehensive training in surveying. Practical work both in the field and in drawing classes forms an important part of this course. Besides, the students have practical work in survey camps during two weeks. The equipment available for carrying out traversing, levelling, tacheometric and astronomical surveying is of the latest design.

The practical and laboratory work throughout the three or four years of study forms a very important part of the course, so the students obtain the required standard in their laboratory course work before they graduate.

British educational system is fee-paying. The annual fee includes registration, tuition, examination, graduation and, in the case of full-time students, membership of the Union of Students.

Students from all over the world (nearly 100 countries) study at the University of Nottingham. For many years the University has had a thriving community of international students.

The University pays much attention to learning foreign languages. For individual study there is a 16-place self-access tape library with a tape archive of 3,000 tapes in 30 languages. There are also 16 video work stations where the students play back video tapes or watch TV broadcasts in a variety of languages.

1. Определите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. In Great Britain the students can get mining education only at special colleges.
2. The training at universities is based on tutorial system.
3. The laboratory work familiarizes the student with modern equipment.
4. There are three types of laboratories at the University of Nottingham.
5. When the students study surveying, they have practical work both in the field and in drawing classes.
6. The students from abroad don't study at Nottingham.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. Where can one get mining education in Great Britain?
2. Is the Mining Department at the University of Nottingham one of the foremost research mining schools in Great Britain?
3. What makes it possible for the University to keep in close touch with the, achievements in mining?
4. What are the students supposed to do in the laboratories?
5. Will the students have practical work in survey camps or in the laboratories?
6. What do the students use surveying equipment for?
7. What can you say about studying foreign languages at the University?

№4

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

advance - *n* прогресс, успех; продвижение вперед; v делать успехи, развиваться, продвигаться вперед; **advanced courses** курсы по расширенной программе

authority - *n* администрация; начальство

differ - v (from) отличаться (от); **difference** *n* различие; разница; **different** *a* различный; *syn* **various**

excavate - v добывать *(уголь);* вырабатывать полезное ископаемое открытым способом; вынимать *(грунт);* **excavation** - *n* открытая разработка карьером; разрез, карьер; **surface excavation** открытая разработка; *syn* **open-cast (opencast)**

experience - *n* жизненный опыт; опыт работы; стаж

found - v основывать**; *syn* establish, set up; foundation** - *n* основание; учреждение; основа; **lay the foundation** положить начало чему-л , заложить основу чего-л.

manage - v управлять, заведовать, справляться, уметь обращаться; **management** - *n* управление, заведование; правление, дирекция; **management studies** - наука об управлении

mean (meant) - *v* значить, иметь значение, подразумевать; намереваться, иметь в виду; **means** - *n, pl* средства, **meaning** - *n* значение, **by means of** посредством (чего-л)

metalliferous – *a* содержащий металл, рудоносный

preliminary - *a* предварительный**; preliminary course** подготовительные курсы

realize - v представлять, себе; понимать *(во всех деталях); **syn*** **understand**

recognize - *v* признавать; узнавать

work out -v разрабатывать *(план);* решать задачу

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 4: Mining Education in Great Britain (continued)

At present in Great Britain there are a number of universities and colleges which give instruction in mechanical engineering, mining, metallurgy, etc. These institutions provide full-time and part-time education. It should be noted that technical colleges confer diplomas' on college graduates.

A university graduate leaves with the degree of Bachelor of Arts or Bachelor of Science, which is an academic qualification awarded by universities.

For example, the University in Cardiff has become one of the largest in Wales. It is one of the four colleges which together with the Welsh National School of Medicine form the University of Wales. There is the Mining Engineering Department in the University of Wales. The Department deals with the whole range of extractive industries such as coal and metalliferous mining, quarrying and oil technology.

After graduating from the college a student can be recommended for entry to the university by a college authority and he can apply for admission to the university.

At the Mining Department students may take several courses such as geology, mining engineering, mine surveying, quarrying, management studies and others. It has become a tradition that the courses are based on an intensive tutorial system. It means that students are allotted to members of the teaching staff for individual tuition separately in mining, in quarrying and in mine surveying. The system is founded on that of the older universities of Great Britain.

At the Department of Mining Engineering of the Newcastle University mining has now become a technically advanced profession. The Department of Mining Engineering trains industrially experienced engineers through various advanced courses in rock mechanics and surface excavation. For many years the Mining Engineering Department at Newcastle has recognized the need for highly-qualified engineers and realized that the courses in rock mechanics and surface excavation are of great importance for mining engineers.

At the University a student studies for three or four years. The organization of the academic year is based on a three-term system which usually runs from about the beginning of October to the middle of December, from the middle of January to the end of March and from the middle of April to the end of June or the beginning of July.

Students course is designed on a modular basis. Modules are self-contained 'units' of study, which are taught and assessed independently of each other. When a student passes a module, he (she) gains a credit. All modules carry a number of credits. At the end of the term, the number of credits a student gets, determines the award he (she) receives. Each module is continuously assessed by coursework and/or end-of-term examinations.

Admission to the British universities is by examination and selection. The minimum age for admission to the four-year course is normally 18 years. Departments usually interview all the candidates. The aim of the interview is to select better candidates.

Just over half of all university students live in colleges, halls of residence, or other accommodation provided by their university, another third lives in lodgings or privately rented accommodation; and the rest live at home.

1. Определите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. At present there are about a hundred technical institutions in Great Britain.
2. It should be noted that British colleges confer degrees.
3. As a rule a college authority recommends the graduates for entry to the university.
4. At the Mining Engineering Department of the University of Wales the students study only metalliferous mining.
5. At the Mining Engineering Department the courses are based on an intensive tutorial system.
6. The Mining Engineering Department at the Newcastle University has recognized the importance of teaching rock mechanics and surface excavation (open-cast mining).

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. Are there many technical institutions in Great Britain?
2. What is the difference between colleges and universities?
3. Is the Mining Engineering Department the only one in the University of Wales?
4. Does the Mining Engineering Department deal only with metalliferous mining?
5. Can a student enter the university after he has graduated from the college?
6. What courses are of special importance for mining engineers?
7. What do you know about the organization of the academic year at British universities?
8. When do the students take their examinations?

3. Переведите следующие сочетания слов.

а) курсы по расширенной программе
б) рудоносные отложения
в) средства производства
г) горный факультет
д) открытые горные работы
е) опытный инженер
ж) администрация колледжа
з) поощрять студентов
и) отвечать требованиям университета
к) наука об управлении

1. зависеть от условий
2. значить, означать
3. признать необходимость (чего-л.)
4. ежегодная производительность (шахты)
5. начальник шахты
6. добывающая промышленность
7. представлять особую важность
8. механика горных пород
9. единственный карьер
10. основывать факультет (школу, систему и т.д.)

№5

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

abyssal - *a* абиссальный, глубинный; **hypabissal** - *a* гипабиссальный
adjacent - *a* смежный, примыкающий
ash - *n* зола
belt - *n* пояс; лента; ремень
body - *n* тело, вещество; **solid (liquid, gaseous) bodies** твердые (жидкие, газообразные) вещества; породная масса; массив; месторождение; пласты
common - *a* обычный; общий; *syn* **general;** *ant* **uncommon**
cool - v охлаждать(ся); остывать; прохладный; *ant* **heat** нагревать(ся)

dimension - *n* измерение; *pl* размеры; величина; *syn* **measurement, size**
dust - *n* пыль
dyke – *n* дайка
extrusion - *n* вытеснение; выталкивание; *ant* **intrusion** вторжение; *геол.* интрузия *(внедрение в породу изверженной массы)*
fine - *a* тонкий, мелкий; мелкозернистый; высококачественный; тонкий; прекрасный, ясный (о *погоде);* изящный; **fine-graded (fine-grained)** мелкозернистый, тонкозернистый; **fines** - *n pl* мелочь; мелкий уголь
flow - v течь; литься; *n* течение; поток; **flow of lava** поток лавы
fragmentary - *a* обломочный, пластический
glass - *n* стекло; **glassy** - *a* гладкий, зеркальный; стеклянный
gold - *n* золото
inclined - *a* наклонный
mica - *n* слюда
permit - *v* позволять, разрешать; *syn* **allow, let; make possible**
probably - *adv* вероятно; *syn* **perhaps, maybe**
shallow - *a* мелкий; поверхностный; *ant* **deep** глубокий
sill - *n* силь, пластовая интрузия
stock - *n* шток, небольшой батолит
vein - *n* жила, прожилок, пропласток

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 5: Igneous Rocks

Igneous rocks have crystallized from solidified magma.

Igneous rocks can be classified in a number of ways and one of (hem is based on mode of occurrence. They occur either as intrusive (below the surface) bodies or as extrusive masses solidified at the Earth's surface. The terms "intrusive" and "extrusive" refer to the place where rocks solidified.

The grain size of igneous rocks depends on their occurrence. The intrusive rocks generally cool more slowly than the extrusive rocks and crystallize to a larger grain size. The coarser-grained intrusive rocks with grain size of more than 0.5 mm called plutonic or abyssal are referred to as intrusive igneous rocks because they are intruded into older pre-existing rocks. Extrusive or volcanic rocks have even finer grains, less than 0.05 mm and are glassy.

Exposed igneous rocks are most numerous in mountain zones for two reasons. First, the mountain belts have been zones of major deformation. Second, uplifts in mountain belts have permitted plutonic masses to be formed.

The largest bodies of igneous rocks are called batholiths. Batholiths cooled very slowly. This slow cooling permitted large mineral grains to form. It is not surprising that batholiths are composed mainly of granitic rocks with large crystals called plutons. As is known, granites and diorites belong to the group of intrusive or plutonic rocks formed by solidification of igneous mass under the Earth's crust. Granites sometimes form smaller masses called stocks, when the occurrence has an irregular shape but smaller dimensions than the batholiths.

Laccoliths and sills, which are very similar, are intruded between sedimentary rocks. Sills are thin and they may be horizontal, inclined or vertical. Laccoliths are thicker bodies and in some cases they form mountains.

Dykes are also intrusive bodies. They range in thickness from a few inches to several thousand feet. Dykes are generally much longer than they are wide. Most dykes occupy cracks and have straight parallel walls. These bodies cool much more rapidly and are commonly fine-grained. For example, granite may occur in dykes that cut older rocks.

Pegmatites (quartz, orthoclase and mica) also belong to the group of plutonic or intrusive rocks. They occur in numerous veins which usually cut through other plutonites, most often granite, or adjacent rocks.

Extrusive igneous rocks have been formed from lava flows which come from fissures to the surface and form fields of volcanic rocks such as rhyolite, andesite, basalt, as well as volcanic ashes and dust, tuff, etc. As a rule, these rocks of volcanic origin cool rapidly and are fine-grained. It is interesting to note that basalt is the most abundant of all lavatypes. It is the principal rock type of the ocean floor.

Igneous rocks are rich in minerals that are important economically or have great scientific value. Igneous rocks and their veins are rich in iron, gold, zinc, nickel and other ferrous metals.

1). Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Igneous rocks have been formed by sedimentation.
2. Intrusive rocks have been formed by the cooling of rocks of the Earth's crust.
3. Extrusive rocks have been formed the same way.
4. The grain size of igneous rocks depends on mode of occurrence.
5. Exposed igneous rocks are numerous in mountain zones.
6. Granites and diorites belong to the group of extrusive rocks.
7. As a rule, granite may occur in dykes.
8. Pegmatites do not belong to the group of plutonic or intrusive rocks.

2). Ответьте на вопросы:

1. Have igneous rocks crystallized from magma or have they been formed by sedimentation?
2. Which types of igneous rocks do you know?
3. What does the grain size of igneous rocks depend on?
4. Can you give an example of intrusive or plutonic rocks?
5. Are diorites intrusive or extrusive formations?
6. What do you know about batholiths?
7. Do pegmatites belong to the group of plutonic or volcanic rocks?
8. How do pegmatites occur?
9. What minerals are igneous rocks rich in?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов в сочетаний слов:

1.	adjacent layers	а) способ залегания
2.	abyssal rocks	б) крупнозернистый
3.	dimensions of crystals	в) зоны крупных нарушений
4.	valuable minerals	г) абиссальные (глубинные) породы
5.	shape and size of grains	д) смежные пласты (слои)
6.	mode of occurrence	е) размеры кристаллов
7.	coarse-grained	ж) взбросы
8.	uplifts	з) форма и размер зерен
9.	zones of major deformation	и) ценные минералы

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих сочетаний слов:

1.	затвердевшие массы	а) irregular shape
2.	обломочные породы	б) at a certain depth
3.	медленно остывать	в) economically important
4.	мелкозернистый	г) solidified masses
5.	многочисленные трещины	д) scientific value
6.	неправильная форма	е) to cool slowly
7.	на определенной глубине	ж) existing types of rocks
8.	экономически важный	з) fine-grained
9.	научная ценность	и) fragmentary rocks

10. существующие типы пород к) numerous cracks or fissures

№6

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

band - *n* слой; полоса; прослоек *(породы); syn* **layer**
cleave - *v* расщепляться; трескаться, отделяться по кливажу; **cleavage** *n* кливаж
constituent - *n* составная часть, компонент
define - *v* определять, давать определение
distribute - v **(among)** распределять (между); раздавать;
disturb - *v* нарушать; смещать
excess - *n* избыток, излишек; *ant* **deficiency**
flaky - *a* слоистый; похожий на хлопья
fluid - *n* жидкость; жидкая или газообразная среда
foliate - *v* расщепляться на тонкие слои; **foliated** - *a* листоватый, тонкослоистый; *syn* **flaky**
marble - *n* мрамор
mention - *v* упоминать, ссылаться; *n* упоминание
plate - *n* пластина; полоса *(металла)*
pressure - *n* давление; **rock pressure (underground pressure)** горное давление, давление горных пород
relate - *v* относиться; иметь отношение; **related** *a* родственный; **relation** - *n* отношение; **relationship** - *n* родство; свойство; **relative** - *a* относительный; соответственный
run (ran, run) - *v* бегать, двигаться; течь; работать (о *машине);* тянуться, простираться; управлять *(машиной);* вести *(дело, предприятие)*
schistose - *a* сланцеватый; слоистый
sheet - *n* полоса
slate - *n* сланец; *syn* **shale**
split (split) - *v* раскалываться, расщепляться, трескаться; *syn* **cleave**
trace - *n* след; **tracing –** *n* прослеживание
at least по крайней мере
to give an opportunity (of) давать возможность *(кому-л., чему-л.)*

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 6: Metamorphic Rocks

The problem discussed concerns metamorphic rocks which compose the third large family of rocks. "Metamorphic" means "changed from". It shows that the original rock has been changed from its primary form to a new one. Being subjected to pressure, heat and chemically active fluids beneath the Earth's surface, various rocks in the Earth's crust undergo changes in texture, in mineral composition and structure and are transformed into metamorphic rocks. The process described is called metamorphism.

As is known, metamorphic rocks have been developed from earlier igneous and sedimentary rocks by the action of heat and pressure.

Gneisses, mica schists, phyllites, marbles, slate, quartz, etc. belong to the same group of rocks. Having the same mineral composition as granite, gneisses consist chiefly of quartz, orthoclase and mica. However unlike granite, they have a schistose structure. It means that their constituents are distributed in bands or layers and run parallel to each other in one direction. If disturbed the rock cleaves easily into separate plates.

The role of water in metamorphism is determined by at least four variable geologically related parameters: rock pressure, temperature, water pressure, and the amount of water present.

During a normal progressive metamorphism rock pressure and temperature are interdependent, and the amount of water and the pressure of water are related to the sediments and to the degree of metamorphism in such a way that, generally speaking, the low-grade metamorphic rocks are

characterized by the excess of water. The medium-grade rocks defined by some deficiency of water and the high-grade metamorphic rocks are characterized by the absence of water.

Many of the metamorphic rocks mentioned above consist of flaky materials such as mica and chlorite. These minerals cause the rock to split into thin sheets, and rocks become foliated.

Slate, phyllite, schist and gneiss belong to the group of foliated metamorphic rocks. Marble and quartzite are non-foliated metamorphic rocks.

The structure of metamorphic rocks is of importance because it shows the nature of pre-existing rocks and the mechanism of metamorphic deformation. Every trace of original structure is of great importance to geologists. It gives an opportunity of analysing the causes of its metamorphism.

Being often called crystalline schists, metamorphic rocks such as gneisses and mica have a schistose structure. Metamorphic rocks represent the oldest portion of the Earth's crust. They are mostly found in the regions of mountain belts where great dislocations on the Earth once took place.

1). Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Generally speaking, metamorphic rocks have been developed from ores.
2. Marble, slate and phyllite belong to the group of metamorphic rocks.
3. As is known, unlike granite metamorphic rocks have a schistose structure.
4. It is quite obvious that the role of water in metamorphism is great.
5. As a rule, low-grade metamorphic rocks are characterized by the absence of water.
6. Flaky materials cause the rock to split into thin sheets.
7. It should be noted that marble and quartzite are foliated metamorphic rocks.
8. The structure of metamorphic rocks shows the nature of older preexisting rocks and the mechanism of metamorphic deformation as well.
9. All metamorphic rocks are non-foliated.

2). Ответьте на вопросы:

1. Do you know how metamorphic rocks have been formed?
2. Which rocks belong to the group of metamorphic?
3. Does gneiss have the same structure as granite?
4. Is the role of water great in metamorphism?
5. What rocks do we call foliated? What can you say about non-foliated metamorphic rocks?
6. How can geologists trace the original structure of metamorphic rocks?
7. Why are metamorphic rocks often called crystalline schists?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. as a result of the chemical and physical changes
2. constituents of rocks
3. to be subjected to constant development
4. to undergo changes
5. excess of water
6. low-grade ores
7. coal band
8. to cleave into separate layers
9. traces of original structure
10. generally speaking

а) полоса (или прослоек) угля
б) составляющие пород
в) расщепляться на отдельные слои
г) вообще говоря

д) в результате химических и физических изменений
е) избыток воды
ж) изменяться
з) находиться в постоянном развитии
и) низкосортные руды
к) следы первоначальной структуры

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. иметь значение
2. упомянутые выше
3. сланцеватая структура
4. в отличие от гранита
5. недостаток воды
6. существовавшие ранее породы
7. слоистые породы
8. мрамор и сланец
9. гнейс
10. давать возможность
11. определять структуру

а) unlike granite
б) to be of importance
в) pre-existing rocks
г) mentioned above
д) schistose structure
е) to give an opportunity (of doing smth)
ж) to define (determine) rock texture
з) deficiency of water
и) flaky rocks
к) marble and slate
л) gneiss

№7

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

aerial - *a* воздушный; надземный

certain - *a* определенный; некоторый; **certainly** *adv* конечно

cost - (cost) v стоить; *n* цена; стоимость

crop - v (out) обнажать(ся), выходить на поверхность *(о пласте, породе); syn* **expose;** засевать, собирать урожай

dredging - *n* выемка грунта; драгирование

drill - v бурить, сверлить; *n* бурение, сверление; бурильный молоток; **drilling** - *n* бурение, сверление; **core-drilling** колонковое (керновое) бурение

drive (drore, **driven**) - v проходить *(горизонтальную выработку);* приводить в движение; управлять *(машиной); n* горизонтальная выработка; привод; передача

evidence – *n* основание; признак(и); свидетельства

expect - v ожидать; рассчитывать; думать; предлагать

explore - v разведывать месторождение полезного ископаемого с попутной добычей; **exploratory** - *a* разведочный; **exploration** - *n* детальная разведка; разведочные горные работы по месторождению

galena - *n* галенит, свинцовый блеск

indicate - v указывать, показывать; служить признаком; означать

lead - *n* свинец

look for - v искать

open up - v вскрывать *(месторождение);* нарезать *(новую лаву, забой);* **opening** - *n* горная выработка; подготовительная выработка; вскрытие месторождения

panning - *n* промывка *(золотоносного песка в лотке)*

processing - *n* обработка; - **industry** обрабатывающая промышленность

prove - v разведывать *(характер месторождения или залегания);* доказывать; испытывать, пробовать; **proved** - *a* разведанный, достоверный; **proving** - *n* опробование, предварительная разведка

search - v исследовать; (for) искать *(месторождение); n* поиск; *syn* **prospecting**

sign - *n* знак, символ; признак, примета

store - v хранить, накапливать *(о запасах)*

work - v работать; вынимать, извлекать *(уголь, руду);* вырабатывать; **workable** - *a* подходящий для работы, пригодный для разработки, рабочий *(о пласте);* рентабельный; **working** - *n* разработка, горная выработка

country rock коренная (основная) порода

distinctive properties отличительные свойства

malleable metal ковкий металл

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 7: Prospecting

Mining activities include prospecting and exploration for a mineral deposit through finding, proving, developing, extracting and processing the ore. That is why it is possible to divide the mining activity into three major phases: 1) before mining which involves prospecting and exploration required to locate, characterize and prove a potential ore body; 2) mining which refers to actual coal or ore extraction. Extraction processes include underground or surface mining and dredging; 3) after mining which involves processing and preparing the raw ore for the end product.

As has already been said, before a mineral deposit can be worked, that is, before it can be extracted from the Earth for use by man, it must first be found. The search for economically useful mineral deposits is called prospecting. To establish the quality and quantity of a mineral deposit, the type of country rock, etc. means to prove it and this process is called proving. Prospecting and proving are only two different stages of mining geological exploration, the latter includes drilling and driving of openings.

Last century prospectors looked for visible evidence of mineralization on the surface of the Earth. To recognize valuable minerals it was necessary to know their various distinctive physical properties. For example, gold occurs in nature as a heavy malleable yellow metal. -Galena, the most important mineral containing lead, is dark grey, heavy and lustrous. The first ores of iron to be mined were deposits of magnetite, a black heavy mineral capable of attracting a piece of iron.

As the deposits of mineral that cropped out at the surface were mined, the search for additional supplies of minerals took place. The science of geology was used to explain the occurrence of ore deposits.

The aim of geological prospecting is to provide information on a preliminary estimation of the deposit and the costs of the geological investigations to be made. It also indicates whether it is available to continue the exploration or not.

Prospecting work includes three stages: 1) finding signs of the mineral; 2) finding the deposit; 3) exploring the deposit.

General indications of the possibility of exposing this or that mineral in a locality can be obtained by studying its general topographical relief, the type of ground and its general natural conditions. Thus, in mountainous regions where fissures were formed during the process of mountain formation, ore minerals could be expected in the fissure fillings. In hilly regions, sedimentary deposits would be expected.

Certain deposits are found only in a particular type of ground. Coal seams, for example, are found in sedimentary formations mainly consisting of sandstones and shales. Veins, on the other hand,

are found in crystalline (igneous) rocks, and the type of country rock usually determines the type of minerals.

At present, prospecting methods to be used are as follows:

1. Surface geological and mineralogical prospecting such as panning.
2. Geophysical, geochemical, geobotanical prospecting.
3. Aerial photography with geological interpretation of the data to be obtained is highly effective from aircraft or helicopter. Besides, successful development of space research has made it possible to explore the Earth's resources from space by satellites.

In modern prospecting the methods mentioned above are used together with the study of geological maps.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. The search for economically useful mineral deposits is called proving.
2. Last century prospectors looked for visible evidence of mineral deposits.
3. The first ores of iron to be mined were deposits of galena.
4. The science of geology can explain the mode of occurrence of ore deposits.
5. As a rule prospecting includes four stages.
6. The study of general topographical relief and the type of ground makes it possible to expose this or that deposit.
7. Geologists know that certain deposits are only found in a particular type of ground.
8. As is known, veins are found in metamorphic rocks.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What is prospecting?
2. What is proving?
3. How did prospectors find mineral deposits in the 19th century?
4. Does gold occur in nature as a heavy malleable yellow metal or as a heavy dark-grey one?
5. What metal is capable of attracting a piece of iron?
6. What does prospecting work provide?
7. What are the three main stages of prospecting?
8. Is it enough to know only the topographical relief of a locality for exposing this or that mineral?
9. What methods of prospecting do you know?
10. What are the most effective aerial methods of prospecting now?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. country rock	а) залегание рудных месторождений
2. panning	б) блестящий металл
3. the search for commercially useful deposits	в) коренная (основная) порода
4. geological exploration	г) дополнительные запасы минералов
5. to look for evidence of mineralization	д) промывка (золотоносного песка в лотке)
6. distinctive properties	е) геологическая разведка (с попутной добычей)
7. lustrous metal	ж) искать доказательства наличия месторождения
8. capable of attracting a piece of iron	з) отличительные свойства
9. additional supplies of minerals	и) поиски экономически полезных месторождений
10. the occurrence of ore deposits	к) способный притягивать кусок металла

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1.	стоимость геологических исследований	а) the data obtained
2.	выходить на поверхность (обнажаться)	б) galena, sandstones and shales
3.	произвести предварительную оценку (месторождения)	в) the cost of geological investigations
4.	визуальные наблюдения с воздуха	г) to crop out
5.	полученные данные	д) certain ore deposits
6.	галенит, песчаники и сланцы	е) to make a preliminary estimation (of a deposit)
7.	общие показания	ж) visual aerial observations
8.	находить признаки месторождения	з) to find the signs of a deposit
9.	определенные рудные месторождения	и) general indications

№8

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

adit - *n* горизонтальная подземная выработка, штольня

angle - *n* угол

approximate - *a* приблизительный

bit - *n* режущий инструмент; буровая коронка, коронка для алмазного бурения; головка бура, сверло; **carbide bit** армированная коронка, армированный бур; **diamond bit** - алмазная буровая коронка

borehole - *n* скважина, буровая скважина

crosscut - *n* квершлаг

dip - *n* падение *(залежи);* уклон, откос; v падать

enable - v давать возможность или право *(что-л. сделать)*

exploit - v разрабатывать *(месторождение);* эксплуатировать; **exploitation** - *n* разработка; эксплуатация

measure - *n* мера; мерка; критерий; степень; *pl* свита, пласты; v измерять

overburden - *n* покрывающие породы, перекрывающие породы; верхние отложения, наносы; вскрыша

pit - *n* шахта; карьер, разрез; шурф

reliable - *a* надежный; достоверный

rig - *n* буровой станок, буровая вышка; буровая каретка; буровое оборудование

sample - *n* образец; проба; v отбирать образцы; опробовать, испытывать

section - *n* участок, секция, отделение, отрезок, разрез, профиль, поперечное сечение; **geological** ~ геологический разрез *(пород)*

sequence - *n* последовательность; порядок следования; ряд

sink (sank, sunk) - v проходить *(шахтный ствол, вертикальную выработку);* углублять; погружать; опускать; **sinking** - *n* проходка *(вертикальных или наклонных выработок);* **shaft sinking** - проходка ствола

slope - *n* наклон; склон; бремсберг; уклон; v клониться, иметь наклон; **sloping** - *a* наклонный; **gently sloping** - с небольшим наклоном

steep - *a* крутой, крутопадающий, наклонный

strike - *n зд.* простирание; v простираться; **across the strike** - вкрест простирания; **along (on) the strike** по простиранию

trench - *n* траншея, канава; котлован; v копать, рыть, шурфовать

to make use (of) использовать, применять

to take into consideration принимать во внимание; *syn* **take into account**

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

TEXT 8: Exploration of Mineral Deposits

Exploration is known to include a whole complex of investigations carried out for determining the industrial importance of a deposit. The main task is to determine the quality and quantity of mineral and the natural and economic conditions in which it occurs. The exploration of the deposit is divided into three stages, namely preliminary exploration, detailed exploration and exploitation exploration.

The aim of preliminary exploration is to establish the general size of a deposit and to obtain an approximate idea of its shape, dimensions and quality. At this stage the geological map of the deposit is corrected and a detailed survey of its surface is completed.

The information on the preliminary exploration is expected to give an all-round description of the deposit which will enable the cost of its detailed exploration to be estimated.

The following points should be taken into consideration: 1) the shape and area of the deposit; 2) its depth and angles of dip and strike; 3) its thickness; 4) the properties of the surrounding rock and overburden; 5) the degree of uniformity of distribution of the mineral within the deposit and the country rock, etc.

Preliminary explorations can make use of exploratory openings such as trenches, prospecting pits, adits, crosscuts and boreholes. They are planned according to a definite system, and some are driven to a great depth.

All the exploratory workings are plotted on the plan. These data allow the geologist to establish the vertical section of the deposit.

The quality of the mineral deposit is determined on the basis of analyses and tests of samples taken from exploratory workings.

The method of exploration to be chosen in any particular case depends on the thickness of overburden, the angle of dip, the surface relief, the ground water conditions and the shape of the mineral deposit.

The task of the detailed exploration is to obtain reliable information on the mineral reserves, their grades and distribution in the different sectors of the deposit. Detailed exploration data provide a much more exact estimate of the mineral reserves.

Mine or exploitation exploration is known to begin as soon as mining operations start. It provides data for detailed estimates of the ore reserves of individual sections. It facilitates the planning of current production and calculating the balance of reserves and ore mined.

The searching and discovering of new mineralized areas are based on geological survey and regional geophysical prospecting. The results of these investigations provide data on iron-bearing formations and new deposits for commercial extraction.

In detailed exploration both underground workings and borehole survey are used. Core drilling with diamond and carbide bits is widely used. Non-core drilling is also used in loose rocks in combination with borehole geophysical survey.

One of the main methods to explore coal deposits is also core-drilling. Modern drilling equipment makes it possible to accurately measure bed thickness and determine structure of beds, faults and folds. Recording control instruments are attached to drilling rigs which allow the geologists to get reliable samples good for nearly all parameters of coal quality to be determined.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. The purpose of preliminary exploration is to determine the mineral reserves and their distribution in the different sectors of the deposit.
2. The properties of the surrounding rock and overburden should be taken into consideration during the preliminary exploration.
3. The purpose of the detailed exploration is to find out the quantity (reserves) of the deposit.
4. Exploitation exploration facilitates the planning of current production.
5. Both core drilling and non-core drilling are widely used.

6. Recording control instruments allow geologists to get reliable ore samples.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What stages does exploration include?
2. What is the main purpose of preliminary exploration?
3. What should be taken into consideration by geologists during preliminary exploration?
4. What exploratory openings do you know?
5. Do you know how the quality of the mineral deposit is determined?
6. What is the aim of a detailed exploration?
7. Is core drilling used in prospecting for loose rocks?
8. What is drilling equipment used for?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих сочетаний слов:

1. bedded deposits
2. core drilling
3. the angle of dip of the seam
4. the thickness of overburden
5. exploratory workings
6. composition of minerals
7. pits and crosscuts
8. to exploit new oil deposits
9. sampling
10. geological section

а) мощность наносов
б) разрабатывать новые месторождения нефти
в) шурфы и квершлаги
г) пластовые месторождения
д) опробование (отбор) образцов
е) угол падения пласта
ж) колонковое бурение
з) геологический разрез (пород)
и) состав минералов
к) разведочные выработки

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих сочетаний слов:

1. буровые скважины
2. по простиранию пласта
3. равномерность распределения минерала в залежи
4. водоносность пород
5. карбидные и алмазные коронки
6. детальная разведка
7. использовать новые поисковые методы
8. проникать в залежь
9. коренная порода
10. свойства окружающих пород

а) ground water conditions
б) detailed exploration
в) boreholes
г) along the strike of the bed (seam)
д) carbide and diamond bits
е) the uniformity of mineral distribution in the deposit
ж) the properties of surrounding rocks
з) to make use of new prospecting methods
и) country rock
к) to penetrate into the deposit

3. Подготовка к практическим занятиям (запоминание иноязычных лексических единиц и грамматических конструкций)

Грамматические конструкции представлены на стр. 6 – 40.

Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

Семья. Family

родственник relative, relation
родители parents
мать (мама) mother (mom, mum, mama, mamma, mummy, ma)
отец (папа) father (dad, daddy, papa, pa)
жена wife
муж husband
супруг(а) spouse
ребенок, дети child, children
дочь daughter
сын son
сестра sister
брат brother
единственный ребенок only child
близнец twin
близнецы, двойняшки twins
брат-близнец twin brother
сестра-близнец twin sister
однояйцевые близнецы identical twins
тройняшки triplets
бабушка и дедушка grandparents
бабушка grandmother (grandma, granny, grandmamma)
дедушка grandfather (grandpa, granddad, grandpapa, grandad)
внуки grandchildren
внучка granddaughter
внук grandson
прабабушка great-grandmother
прадедушка great-grandfather
прабабушка и прадедушка great-grandparents
правнуки great-grandchildren
тётя aunt
дядя uncle
крестный (отец) godfather
крестная (мать) godmother
отчим, приемный отец stepfather
мачеха, приемная мать stepmother
сводный брат stepbrother
сводная сестра stepsister
брат по одному из родителей half-brother
сестра по одному из родителей half-sister
приемный, усыновленный сын adopted son
приемная, удочеренная дочь adopted daughter
приемный ребенок adopted child
патронатная семья, приемная семья foster family
приемный отец foster father
приемная мать foster mother
приемные родители foster parents

приемный сын foster son
приемная дочь foster daughter
приемный ребенок foster child
неполная семья (с одним родителем) single-parent family
родня the kin, the folks
племянница niece
племянник nephew
двоюродный брат cousin (male)
двоюродная сестра cousin (female)
двоюродный брат (сестра), кузен (кузина) first cousin
троюродный брат (сестра) second cousin
четвероюродный брат (сестра) third cousin
родня со стороны мужа или жены in-laws
свекровь mother-in-law (husband's mother)
свёкор father-in-law (husband's father)
тёща mother-in-law (wife's mother)
тесть father-in-law (wife's father)
невестка, сноха daughter-in-law
зять son-in-law
шурин, свояк, зять, деверь brother-in-law
свояченица, золовка, невестка sister-in-law
семейное положение marital status
холостой, неженатый, незамужняя single
женатый, замужняя married
брак marriage
помолвка engagement
помолвленный, обрученный engaged
развод divorce
разведенный divorced
бывший муж ex-husband
бывшая жена ex-wife
расставшиеся, не разведенные, но не проживающие одной семьей separated
вдова widow
вдовец widower
подружка, невеста girlfriend
друг, парень, ухажер boyfriend
любовник, любовница lover
ухажер, жених, подружка, невеста, обрученный fiance
свадьба wedding
невеста на свадьбе bride
жених на свадьбе (bride)groom
медовый месяц honeymoon

Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

The Ural State Mining University

Mining University – Горный университет; **higher educational institution** - высшее учебное заведение; **to provide** - зд. Предоставлять; **full-time education** - очное образование; **extramural education** - заочное	**scientific research centre** - центр научных исследований; **master of science** - кандидат наук; **capable** – способный; **to take part in** - принимать участие; **graduate** – выпускник; **to dedicate** – посвящать;

образование; **to award** – награждать; **post-graduate courses** – аспирантура;	**to carry out scientific work** - выполнять научную работу;

Faculty of Mining Technology - горно – технологический; **Faculty of Engineering and Economics** - инженерно-экономический; **Institute of World Economics** – Институт мировой экономики; **Faculty of Mining Mechanics** - горно-механический; **Faculty of Civil Protection** – гражданской защиты; **Faculty of City Economy** – городского хозяйства;	**Faculty of Geology & Geophysics** – геологии и геофизики; **Faculty of extramural education** – заочный; **department** – кафедра; **dean** – декан; **to train specialists in** - готовить специалистов; **to consist of** - состоять из; **preparatory** – подготовительный; **additional** – дополнительный; **to offer** – предлагать;

to house - размещать /ся/; **building** – здание; **Rector's office** – ректорат; **Dean's office** – деканат; **department** – кафедра; **library** – библиотека; **reading hall** - читальный зал; **assembly hall** - актовый зал; **layout** - расположение, план; **administrative offices** - административные отделы;	**computation centre** - вычислительный центр; **canteen** – столовая; **to have meals** – питаться; **hostel** – общежитие; **to go in for sports** - заниматься спортом; **wrestling** – борьба; **weight lifting** - тяжелая атлетика; **skiing** - катание на лыжах; **skating** - катание на коньках; **chess** – шахматы;

academic work - учебный процесс; **academic year** - учебный год; **to consist of** - состоять из; **bachelor's degree** - степень бакалавра; **course of studies** - курс обучения; **to last** - длиться; **term** - семестр; **to attend lectures and classes** - посещать лекции и занятия; **period** - пара, 2 – х часовое занятие; **break** - перерыв; **subject** - предмет; **descriptive geometry** - начертательная геометрия;	**general geology** - общая геология; **foreign language** - иностранный язык; **to operate a computer** - работать на компьютере; **to take a test (an exam)** - сдавать зачет, экзамен; **to pass a test (an exam)** - сдать зачет, экзамен; **to fail a test (an exam)** - не сдать зачет, экзамен; **to fail in chemistry** - не сдать химию; **holidays, vacations** - каникулы; **to present graduation paper** - представлять дипломные работы; **for approval** - к защите;

The Faculty of Mining Technology trains specialists in: mine surveying - маркшейдерская съемка; underground mining of mineral deposits - подземная разработка месторождений полезных ископаемых; mine and underground construction - шахтное и подземное строительство; surface mining (open-cut mining) - открытые горные работы; physical processes of mining, oil and gas production - физические процессы горного и нефтегазового производства; placer mining - разработка россыпных месторождений; town cadastre - городской кадастр.

The Institute of World Economics trains specialists in: land improvement, recultivation and soil protection - мелиорация, рекультивация и охрана земель; engineer protection of environment in mining - инженерная защита окружающей среды в горном деле; computer systems of information processing and control - автоматизированные системы обработки информации и управления; economics and management at mining enterprises - экономика и управление на предприятиях горной промышленности.

The Faculty of Mining Mechanics trains specialists in: electromechanical equipment of mining enterprises - электромеханическое оборудование горных предприятий; designing & production of mining, oil and gas machinery - конструирование и производство горных и нефтегазопромысловых машин; technological and service systems of exploitation and maintenance of machines and equipment - технологические и сервисные системы эксплуатации и ремонта машин и оборудования; motorcars and self-propelled mining equipment - автомобили и самоходное горное оборудование; electric drive and automation or industrial units and technological complexes - электопривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов; automation of technological processes and industries - автоматизация технологических процессов и производств; mineral dressing - обогащение полезных ископаемых.

The Faculty of Geology & Geophysics trains specialists in: geophysical methods of prospecting and exploring mineral deposits - геофизические мет оды поисков и разведки месторождений полезных ископаемых; according to some specializations: geoinformatics – геоинформатика; applied geophysics - прикладная геофизика; structural geophysics - структурная геофизика; geological surveying and exploration or mineral deposits - геологическая съемка и поиски МПИ; geology and mineral exploration - геология и разведка МПИ; prospecting and exploration or underground waters and engineering - geological prospecting - поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания; applied geochemistry, petrology and mineralogy - прикладная геохимия, петро логия и минералогия; drilling technology - технология и техника разведки МПИ.

Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

My town

a building – здание
downtown – деловой центр города
town outskirts – окраина города
a road – дорога
an avenue – проспект
a pavement/a sidewalk - тротуар
a pedestrian – пешеход
a pedestrian crossing – пешеходный переход
traffic lights – светофор
a road sign – дорожный знак
a corner – угол
a school - школа
a kindergarten – детский сад
a university - университет
an institute – институт
an embassy - посольство
a hospital - больница
a shop/a store/a shopping centre/a supermarket – магазин, супермаркет
a department store – универмаг
a shopping mall/centre – торговый центр
a food market – продуктовый рынок
a greengrocery – фруктово-овощной магазин
a chemist’s/a pharmacy/a drugstore - аптека

a beauty salon – салон красоты
a hairdressing salon/a hairdresser's - парикмахерская
a dental clinic/a dentist's – стоматологическая клиника
a vet clinic – ветеринарная клиника
a laundry – прачечная
a dry-cleaner's – химчистка
a post-office – почтовое отделение
a bank – банк
a cash machine/a cash dispenser - банкомат
a library – библиотека
a sight/a place of interest - достопримечательность
a museum – музей
a picture gallery – картинная галерея
a park – парк
a fountain – фонтан
a square – площадь
a monument/a statue – памятник/статуя
a river bank – набережная реки
a beach – пляж
a bay - залив
a café – кафе
a restaurant – ресторан
a nightclub – ночной клуб
a zoo - зоопарк
a cinema/a movie theatre - кинотеатр
a theatre – театр
a circus - цирк
a castle - замок
a church – церковь
a cathedral – собор
a mosque - мечеть
a hotel – отель, гостиница
a newsagent's – газетный киоск
a railway station – железнодорожный вокзал
a bus station - автовокзал
a bus stop – автобусная остановка
an underground (metro, subway, tube) station – станция метро
a stadium – стадион
a swimming-pool – плавательный бассейн
a health club/a fitness club/a gym – тренажерный зал, фитнесс клуб
a playground – игровая детская площадка
a plant/a factory – завод/фабрика
a police station – полицейский участок
a gas station/a petrol station – заправочная автостанция, бензоколонка
a car park/a parking lot - автостоянка
an airport - аэропорт
a block of flats – многоквартирный дом
an office block – офисное здание
a skyscraper - небоскреб
a bridge – мост
an arch – арка
a litter bin/a trash can – урна

a public toilet – общественный туалет
a bench - скамья

Запомните слова и выражения, необходимые для освоения тем курса:

My speciality

The Earth's Crust and Useful Minerals

cause - v заставлять; вызывать; влиять; причинять; *n* причина, основание; дело; общее дело; *syn* **reason**

clay - *n* глина; глинозем

consolidate - v твердеть, затвердевать, уплотнять(ся); укреплять; *syn* **solidify**

crust - *n* кора; *геол.* земная кора

decay - v гнить, разлагаться; *n* выветривание *(пород);* распад, разложение

derive - v (from) происходить, вести свое происхождение *(от);* наследовать

destroy - v разрушать; уничтожать; **destructive** *a* разрушительный

dissolve v растворять

expose - v выходить *(на поверхность);* обнажаться; **exposure** - *n* обнажение

external - *a* внешний

extrusive - *a* эффузивный, излившийся *(о горной породе)*

force - v заставлять, принуждать; ускорять движение; *n* сила; усилие

glacier - *n* ледник, глетчер

grain - *n* зерно; **angular grains** - угловатые зерна *(минералов);* **grained** - *a* зернистый

gravel - *n* гравий, крупный песок

internal - *a* внутренний

intrusive - *a* интрузивный, плутонический

iron - *n* железо

layer - *n* пласт

like - *a* похожий, подобный; *syn* **similar;** *ant* **unlike;** *adv* подобно

lime - *n* известь; **limestone** - *n* известняк

loose - *a* несвязанный, свободный; рыхлый

make up - v составлять; *n* состав *(вещества)*

particle - *n* частица; включение

peat - *n* торф; торфяник

represent - v представлять собою; означать; быть представителем; **representative** - представитель; **representative** - *a* характерный, типичный

rock – *n* горная порода; **igneous** - изверженная порода; **sedimentary** - осадочная порода

sand - *n* песок

sandstone - *n* песчаник; **fine-grained (medium-grained, coarse-grained)** - мелкозернистый (среднезернистый, грубозернистый) песчаник

sediment - *n* отложение; осадочная порода; **sedimentary** - *a* осадочный; **sedimentation** - *n* образование осадочных пород

schist - *n (кристаллический)* сланец; **schistose** - *a* сланцеватый, слоистый

shale - *n* сланец, сланцевая глина, глинистый сланец; **clay** - глинистый сланец; **combustible …, oil …** - горючий сланец

siltstone - *n* алеврит

stratification - *n* напластование, залегание

stratify - v напластовываться; отлагаться пластами; **stratified** *a* пластовый; *syn* **layered, bedded**

substance - *n* вещество, материал; сущность

thickness - *n* толщина, мощность

value - *n* ценность; важность; величина; значение; **valuable** - *a* ценный *(о руде)*

vary - v изменять(ся); отличать(ся); *syn* **differ, change (from); variable** - *a* переменный; непостоянный; **various** *a* различный; *syn* **different**

contain - v содержать *(в себе),* вмещать

crack - *n* трещина; щель; v давать трещину; трескаться, раскалываться

contract - v сжиматься; сокращаться

dust - *n* пыль

expand - v расширяться); увеличивать(ся) в объеме; **expansion** *n* расширение; *ant* **contract**

fissure - *n* трещина *(в породе, угле);* расщелина; щель

fracture - *n* трещина; излом; разрыв; v ломать(ся); раздроблять *(породу)*

freeze - *v* замерзать; замораживать; застывать

gradual - *a* постепенный; **gradually** *adv* постепенно

hard - *a* твердый, жесткий; *ant* **soft;** тяжелый (о *работе); adv* сильно, упорно; **hardly** *adv* едва, с трудом

hole - *n* отверстие; скважина; шпур; шурф

influence - *n* влияние; v **(on, upon)** влиять (не *что-л.)*

lateral - *a* боковой

occur - *v* залегать; случаться; происходить; *syn* **take place, happen; occurrence** - *n* залегание; **mode of occurrence** - условия залегания

penetrate - *v* проникать *(внутрь),* проходить через *(что-л.)*

phenomenon - *n* явление; *pi* **phenomena**

pressure - *n* давление; **lateral pressure** боковое *(горизонтальное)* давление; **rock pressure** горное давление, давление породы

rate - *n* степень, темп; скорость, норма; производительность; сорт; *syn* **speed, velocity**

refer - v (to) ссылаться *(на что-л.);* относиться *(к периоду, классу)*

resist - *v* сопротивляться; противостоять; противодействовать; **resistance** - *n* сопротивление; **resistant** - *a* стойкий; прочный; сопротивляющийся

size - *n* размер; величина; класс *(угля)*

solution – *n* раствор; **soluble** - *a* растворимый; **solvent** - растворитель; *a* растворяющий

succession – *n* последовательность, непрерывный ряд; **in succession** последовательно

undergo (underwent, undergone) - *v* испытывать *(что-л.),* подвергаться *(чему-л.)*

uniform – *a* однородный; одинаковый

weathering - *n* выветривание; эрозия *(воздействию, влиянию и т.д.)*

to be subjected to подвергаться

Rocks of Earth's Crust

abyssal - *a* абиссальный, глубинный; **hypabissal** - *a* гипабиссальный

adjacent - *a* смежный, примыкающий

ash - *n* зола

belt - *n* пояс; лента; ремень

body - *n* тело, вещество; **solid (liquid, gaseous) bodies** твердые (жидкие, газообразные) вещества; породная масса; массив; месторождение; пласты

common - *a* обычный; общий; *syn* **general;** *ant* **uncommon**

cool - v охлаждать(ся); остывать; прохладный; *ant* **heat** нагревать(ся)

dimension - *n* измерение; *pl* размеры; величина; *syn* **measurement, size**

dust - *n* пыль

dyke – *n* дайка

extrusion - *n* вытеснение; выталкивание; *ant* **intrusion** вторжение; *геол.* интрузия *(внедрение в породу изверженной массы)*

fine - *a* тонкий, мелкий; мелкозернистый; высококачественный; тонкий; прекрасный, ясный (о *погоде);* изящный; **fine-graded (fine-grained)** мелкозернистый, тонкозернистый; **fines** - *n pl* мелочь; мелкий уголь

flow - v течь; литься; *n* течение; поток; **flow of lava** поток лавы

fragmentary - *a* обломочный, пластический

glass - *n* стекло; **glassy** - *a* гладкий, зеркальный; стеклянный
gold - *n* золото
inclined - *a* наклонный
mica - *n* слюда
permit - *v* позволять, разрешать; *syn* **allow, let; make possible**
probably - *adv* вероятно; *syn* **perhaps, maybe**
shallow - *a* мелкий; поверхностный; *ant* **deep** глубокий
sill - *n* силь, пластовая интрузия
stock - *n* шток, небольшой батолит
vein - *n* жила, прожилок, пропласток
band - *n* слой; полоса; прослоек *(породы); syn* **layer**
cleave - *v* расщепляться; трескаться, отделяться по кливажу; **cleavage** *n* кливаж
constituent - *n* составная часть, компонент
define - *v* определять, давать определение
distribute - v **(among)** распределять (между); раздавать;
disturb - *v* нарушать; смещать
excess - *n* избыток, излишек; *ant* **deficiency**
flaky - *a* слоистый; похожий на хлопья
fluid - *n* жидкость; жидкая или газообразная среда
foliate - *v* расщепляться на тонкие слои; **foliated** - *a* листоватый, тонкослоистый; *syn* **flaky**
marble - *n* мрамор
mention - *v* упоминать, ссылаться; *n* упоминание
plate - *n* пластина; полоса *(металла)*
pressure - *n* давление; **rock pressure (underground pressure)** горное давление, давление горных пород
relate - *v* относиться; иметь отношение; **related** *a* родственный; **relation** - *n* отношение; **relationship** - *n* родство; свойство; **relative** - *a* относительный; соответственный
run (ran, run) - *v* бегать, двигаться; течь; работать (о *машине);* тянуться, простираться; управлять *(машиной);* вести *(дело, предприятие)*
schistose - *a* сланцеватый; слоистый
sheet - *n* полоса
slate - *n* сланец; *syn* **shale**
split (split) - *v* раскалываться, расщепляться, трескаться; *syn* **cleave**
trace - *n* след; **tracing –** *n* прослеживание
at least по крайней мере
to give an opportunity (of) давать возможность *(кому-л., чему-л.)*
in such a way таким образом

Fossil Fuels

accumulate - v накапливать; скопляться
ancient - *a* древний, старинный; *ant* **modern**
associate - v связывать, соединять, ассоциироваться; *syn* **connect, link**
burn (burnt) - v сжигать; гореть; жечь
charcoal - *n* древесный уголь
convenient - *a* удобный, подходящий
crude - *a* сырой, неочищенный
dig (dug) - v добывать; копать; **digger** - n угольный экскаватор; землеройная машина
divide - v делить; (from) отделять; разделять
evidence - *n* доказательство; очевидность; признак(и)
fossil - *a* окаменелый, ископаемый; *n* ископаемое *(органического происхождения);* окаменелость
heat - v нагревать; *n* теплота
liquid - *a* жидкий; n жидкость; *ant* **solid**

manufacture - *v* изготовлять, производить; *syn* **produce**

mudstone - *n* аргиллит

purpose - *n* цель; намерение; *syn* **aim, goal**

shale - *n* глинистый сланец

the former … the latter - первый *(из вышеупомянутых)* последний *(из двух названных)*

bench - *n* слой, пачка *(пласта)*

blend - v смешивать(ся); вклинивать(ся)

combustion - *n* горение, сгорание; **spontaneous combustion** самовоспламенение, самовозгорание

continuity - *n* непрерывность, неразрывность

domestic - *a* внутренний; отечественный

estimate - v оценивать; *n* оценка; смета

fault - *n* разлом, сдвиг *(породы);* сброс; **faulting** *n* образование разрывов или сбросов

fold - *n* изгиб, складка, флексура; **foulding** - *n* складчатость, смешение *(пласта)* без разрыва

inflame - v воспламеняться; загорать(ся); **inflammable** - *a* воспламеняющийся, горючий, огнеопасный; **flame** - *n* пламя

intermediate - *a* промежуточный; вспомогательный

liable - *a* (to) подверженный; подлежащий *(чему-л.)*

luster - *n* блеск *(угля, металла);* **lustrous** - *a* блестящий

matter - *n* вещество; материя

moisture - *n* влажность, сырость; влага

parting - *n* прослоек

plane - *n* плоскость; **bedding plane** плоскость напластования

rank - *n* класс, тип; **coal rank** группа угля, тип угля

regular - *a* правильный; непрерывный; *ant* **irregular** неправильный; неравномерный; **regularity** *n* непрерывность; правильность

similar - *a* похожий, сходный; подобный; *syn* **alike, the same as**

smelt - v плавить *(руду);* выплавлять *(металл)*

store - v запасать, хранить на складе; вмещать

strata - *n pl от* **stratum** пласты породы; свита *(пластов);* формация, напластования породы; *syn* **measures**

thickness - *n* мощность *(пласта, жилы)*

uniform - *a* однородный; равномерный; **uniformity** *n* однородность; единообразие

utilize - v использовать; *syn* **use, apply, employ**

volatile - *a* летучий, быстро испаряющийся

Prospecting and Exploration

aerial - *a* воздушный; надземный

certain - *a* определенный; некоторый; **certainly** *adv* конечно

cost - (cost) v стоить; *n* цена; стоимость

crop - v (out) обнажать(ся), выходить на поверхность *(о пласте, породе); syn* **expose;** засевать, собирать урожай

dredging - *n* выемка грунта; драгирование

drill - v бурить, сверлить; *n* бурение, сверление; бурильный молоток; **drilling** - *n* бурение, сверление; **core-drilling** колонковое (керновое) бурение

drive (drore, **driven**) - v проходить *(горизонтальную выработку);* приводить в движение; управлять *(машиной); n* горизонтальная выработка; привод; передача

evidence – *n* основание; признак(и); свидетельства

expect - v ожидать; рассчитывать; думать; предлагать

explore - v разведывать месторождение полезного ископаемого с попутной добычей; **exploratory** - *a* разведочный; **exploration** - *n* детальная разведка; разведочные горные работы по месторождению

galena - *n* галенит, свинцовый блеск

indicate - v указывать, показывать; служить признаком; означать

lead - *n* свинец

look for - v искать

open up - v вскрывать *(месторождение);* нарезать *(новую лаву, забой);* **opening** - *n* горная выработка; подготовительная выработка; вскрытие месторождения

panning - *n* промывка *(золотоносного песка в лотке)*

processing - *n* обработка; - **industry** обрабатывающая промышленность

prove - v разведывать *(характер месторождения или залегания);* доказывать; испытывать, пробовать; **proved** - *a* разведанный, достоверный; **proving** - *n* опробование, предварительная разведка

search - v исследовать; (for) искать *(месторождение); n* поиск; *syn* **prospecting**

sign - *n* знак, символ; признак, примета

store - v хранить, накапливать *(о запасах)*

work - v работать; вынимать, извлекать *(уголь, руду);* вырабатывать; **workable** - *a* подходящий для работы, пригодный для разработки, рабочий *(о пласте);* рентабельный; **working** - *n* разработка, горная выработка

adit - *n* горизонтальная подземная выработка, штольня

angle - *n* угол

approximate - *a* приблизительный

bit - *n* режущий инструмент; буровая коронка, коронка для алмазного бурения; головка бура, сверло; **carbide bit** армированная коронка, армированный бур; **diamond bit** - алмазная буровая коронка

borehole - *n* скважина, буровая скважина

crosscut - *n* квершлаг

dip - *n* падение *(залежи);* уклон, откос; v падать

enable - v давать возможность или право *(что-л. сделать)*

exploit - v разрабатывать *(месторождение);* эксплуатировать; **exploitation** - *n* разработка; эксплуатация

measure - *n* мера; мерка; критерий; степень; *pl* свита, пласты; v измерять

overburden - *n* покрывающие породы, перекрывающие породы; верхние отложения, наносы; вскрыша

pit - *n* шахта; карьер, разрез; шурф

reliable - *a* надежный; достоверный

rig - *n* буровой станок, буровая вышка; буровая каретка; буровое оборудование

sample - *n* образец; проба; v отбирать образцы; опробовать, испытывать

section - *n* участок, секция, отделение, отрезок, разрез, профиль, поперечное сечение; **geological** ~ геологический разрез *(пород)*

sequence - *n* последовательность; порядок следования; ряд

sink (sank, sunk) - v проходить *(шахтный ствол, вертикальную выработку);* углублять; погружать; опускать; **sinking** - *n* проходка *(вертикальных или наклонных выработок);* **shaft sinking** - проходка ствола

slope - *n* наклон; склон; бремсберг; уклон; v клониться, иметь наклон; **sloping** - *a* наклонный; **gently sloping** - с небольшим наклоном

steep - *a* крутой, крутопадающий, наклонный

strike - *n зд.* простирание; v простираться; **across the strike** - вкрест простирания; **along (on) the strike** по простиранию

trench - *n* траншея, канава; котлован; v копать, рыть, шурфовать

to make use (of) использовать, применять

to take into consideration принимать во внимание; *syn* **take into account**

General Information on Mining

access - *n* доступ

affect - v воздействовать *(на что-л.);* влиять; *syn* **influence**

barren - *a* непродуктивный; пустой *(о породе)*

chute - *n* скат, спуск; углеспускная выработка; жёлоб

compare - v (with) сравнивать, проводить параллель

contribute - v способствовать, содействовать; делать вклад *(в науку);* **make a (one's) ~ to smth.** сделать вклад во что-л.

cross-section - *n* поперечное сечение, поперечный разрез, профиль

develop - v разрабатывать *(месторождение);* развивать *(добычу);* производить подготовительные работы; **development** - *n* подготовительные работы; развитие добычи; развитие

drift - *n* штрек, горизонтальная выработка

ensure - v обеспечивать, гарантировать; *syn* **guarantee**

face - *n* забой; лава

floor - л почва горной выработки, почва пласта (жилы); **quarry** ~ подошва карьера; пол, настил

govern - v править, управлять; руководить; определять, обусловливать

inclination - *n* уклон, скат, наклон *(пластов);* наклонение; **seam** ~ падение *(пласта);* наклон *(пласта)*

incline - *n* уклон, бремсберг, скат; наклонный ствол; **gravity** ~ бремсберг

inclined - *a* наклонный; **flatly** ~ слабо наклонный; **gently ~** наклонного падения; **medium** ~ умеренно наклонный *(о пластах);* **steeply** ~ крутопадающий

level - *n* этаж, горизонт, горизонтальная горная выработка; штольня; уровень *(инструмент);* нивелир; ватерпас; горизонтальная поверхность

recover - v извлекать *(целики);* выбирать, очищать; добывать *(уголь и т.п.);* восстанавливать

remove - v удалять; убирать; устранять; перемещать; **removal** - *n* вскрыша; выемка; уборка *(породы);* извлечение *(крепи);* перемещение; **overburden** - удаление вскрыши

rib - *n* ребро; выступ; узкий целик, предохранительный целик; грудь забоя

roof - *n* крыша; кровля выработки; кровля пласта *(или* жилы); перекрытие; ~ **support** - крепление кровли

shaft - *n* шахтный ствол; **auxiliary** ~ вспомогательный ствол; **hoisting** ~ подъемный ствол; главный шахтный ствол

tabular - *a* пластовый (о *месторождении);* пластообразный; плоский; линзообразный; *syn* **bedded, layered**

waste - *n* пустая порода; отходы; *syn* **barren rock**

well - *n* буровая скважина; колодец, источник; водоем; зумф

capital investment - капитальные вложения

gate road - промежуточный штрек

in bulk - навалом, в виде крупных кусков

metal-bearing - содержащий металл

production face/working - очистной забой

productive mining - эксплуатационные работы

in view of - ввиду чего-л., принимая во внимание что-л.

with a view to - с целью

advantage - *n* преимущество; превосходство; выгода; польза; **advantageous** - *a* выгодный; благоприятный, полезный; **to take advantage of smth** воспользоваться чём-л.

caving - *n* обрушение *(кровли);* разработка с обрушением

deliver - v доставлять, подавать; питать; нагнетать; произносить *(речь);* читать *(лекцию)*

entry - *n* штрек; выработка горизонтальная; *pl* подготовительные выработки; нарезные выработки; штреки

giant - *n* гидромонитор

gravity - *n* сила тяжести; вес, тяжесть; **by ~** самотеком, под действием собственного веса

haul - v доставлять; откатывать; подкатывать; перевозить; **haulage** - *n* откатка; доставка; транспортировка *(по горизонтали)*

longwall - *n* лава; выемка лавами; сплошной забой, сплошная или столбовая система разработки; *syn* **continuous mining; ~ advancing on the strike** выемка лавами прямым ходом по простиранию; сплошная система разработки по простиранию; **~ advancing to the rise** сплошная система разработки с выемкой по восстанию; ~ to **the dip** сплошная система разработки с выемкой по падению; ~ **retreating** выемка лавами обратным ходом; столбовая система разработки лавами

lose (lost) - v терять; **loss** - *n* потеря, убыток

pillar - *n* целик; столб; **shaft** ~ околоствольный целик; ~ **method** столбовая система разработки; ~ **mining** выемка целиков

predominate - v преобладать, превалировать; превосходить; господствовать, доминировать

protect - v охранять, защищать

reach - v простираться, доходить до; добиваться, достигать

satisfy - v удовлетворятъ(ся)

shield - *n* щит; ~ **method** щитовой метод проходки, щитовой способ

room - *n* камера; очистная камера; **room-and-pillar method** камерно-столбовая система разработки

stowing - *n* закладка *(выработанного пространства)*

method of working система разработки

the sequence of working the seams - последовательность отработки пластов

goaf — завал; обрушенное пространство

double-ended drum bearer — комбайн с двойным барабаном

to identify — опознавать

appraisal — оценка

susceptibility — чувствительность

concealed — скрытый, не выходящий на поверхность

crusher — дробилка

concentration — обогащение

blending — смешивание; составление шихты

screen — сортировать (обыден. уголь); просеивать

froth floatation — пенная флотация

core drilling — колонковое бурение

to delineate — обрисовывать, описывать

lender — заимодавец

feasibility — возможность

in situ mining — повторная разработка месторождения в массиве

screening — просеивание; грохочение

processing — обработка, разделение минералов

Mining and Environment

break v **(broke**, **broken**) отбивать *(уголь или породу),* обрушивать кровлю; разбивать; ломать; л отбойка, обрушение; **break out** отбивать, производить выемку

(руды .или породы); расширять забой; **breakage** л разрыхление, дробление

drill - *n* бур; .перфоратор; бурильный молоток; сверло; v бурить; car ~ буровая тележка; **mounted** ~ перфоратор на колонке; колонковый бурильный молоток; **drilling** - *n* бурение

dump -*n* отвал *(породы);* склад угля; опрокид; **external** ~ внешний отвал; **internal** ~ внутренний отвал; v сваливать (в *отвал);* разгружать; отваливать; опрокидывать *(вагонетку);*

dumper опрокид; самосвал; отвалообразователь; **dumping** л опрокидывание; опорожнение; опрокид; *syn* **tip**

environment - *n* окружение; окружающая обстановка/среда

explode - v взрывать, подрывать; **explosion** - *n* взрыв; **explosive** - *n* взрывчатое вещество; *a* взрывчатый

friable - *a* рыхлый; хрупкий; рассыпчатый; слабый (о *кровле)*

handle - v перегружать; доставлять; транспортировать; управлять машиной; *n* ручка; рукоять; скоба; **handling** - *n* подача; погрузка; перекидка, доставка; транспортировка; обращение с машиной

heap - v наваливать; нагребать; *n* породный отвал, терриконик; *syn* **spoil ~, waste ~**

hydraulicklng - *n* гидродобыча; гидромеханизированная разработка

load - v нагружать, грузить, наваливать; *n* груз; нагрузка; **loader** - *n* погрузочная машина, навалочная машина, перегружатель; грузчик; **cutter-loader** - комбайн, комбинированная горная машина

lorry - *n* грузовик; платформа; *syn* **truck**

mention - v упоминать

overcasting - *n* перелопачивание *(породы)*

pump - *n* насос; **gravel** ~ песковый насос; **sludge** ~ шламовый насос; v качать; накачивать; откачивать

reclamation - *n* восстановление; осушение; извлечение крепи; ~ **of land** восстановление участка *(после открытых работ)*

sidecastiag - *n* внешнее отвалообразование

site - *n* участок, место; **building** ~ строительная площадка

slice - *n* слой; **slicing** - *n* выемка слоями, разработка слоями

strip - v производить вскрышные работы; разрабатывать; очищать *(лаву);* вынимать породу или руду; *n* полоса; **stripper** - *n* забойщик; вскрышной экскаватор; **stripping** - *n* открытая разработка, открытые горные работы; вскрыша; вскрытие наносов

unit - *n* агрегат; установка; устройство; прибор; узел; секция; деталь; машина; механизм; единица измерения; участок

washery - *n* углемойка; рудомойка; моечный цех

to attract smb's attention привлекать чье-л. внимание

backhoe - *n* обратная лопата

blast - *n* взрыв; v взрывать; дуть; продувать; **blasting** - *n* взрывание; взрывные работы; взрывная отбойка

block out - v нарезать залежь на блоки; нарезать столбы

clearing - *n* выравнивание почвы; планировка грунта

crash - v дробить; разрушать; обрушать(ся)

earth-mover - *n* землеройное оборудование; *syn* **excavator**

excavator - *n* экскаватор; **bucket-wheel** - роторный экскаватор; **multi-bucket ~** многочерпаковый экскаватор; **single-bucket** - одночерпаковый экскаватор

grab - *n* грейфер, ковш, черпак; экскаватор; v захватывать;

grabbing - погрузка грейфером; захватывание

hoist - *n* подъемное установка (машина); подъемник; лебедка; v поднимать; **hoisting** шахтный подъем

plough - *n* струг

power shovel - *n* механическая лопата; экскаватор типа механической лопаты

range - *n* колебание в определенных пределах

rate - *n* норма; скорость, темп; коэффициент; степень; разрез; сорт; мощность; расход *(воды)*

remote - *a* отдаленный; ~ **control** дистанционное управление

result - v (in) приводить (к); иметь своим результатом; (from) следовать (из), происходить в результате

safety - *n* безопасность; техника безопасности

slope - *n* забой, сплошной забой, очистной забой; v очищать забой, вынимать породу, уголь; *syn* **face; sloping** очистные работы; очистная выемка; **open sloping** выемка с открытым забоем; **shrinkage sloping** выемка системой с магазинированием *(руды)*

support - v крепить; поддерживать; подпирать; *n* стойка; опора; поддержание; крепление; *syn* **timbering; powered roof** - механизированная крепь; **self-advancing powered roof** - передвижная механизированная крепь

1.4 Самостоятельное изучение тем курса (для заочной формы обучения)

Самостоятельное изучение тем курса предполагает изучение тем практических занятий, представленных в разделе 1, 2, 3 данных методических указаний студентами заочной формы обучения в межсессионный период.

1.5 Подготовка к контрольной работе и 1.6 Написание контрольной работы

Для выполнения контрольной работы студентами кафедрой подготовлены *Методические рекомендации и задания к контрольной работе для студентов данной специальности.*

II. Другие виды самостоятельной работы

2.1 Выполнение самостоятельного письменного домашнего задания (Подготовка к ролевой игре, к практико-ориентированным заданиям, опросу)

2.1.1 Подготовка к ролевой игре

Студенты получают ролевые карточки. Им необходимо обдумать свою роль, стратегию своей роли, вопросы и ответы.

Role card 1

Sasha

The worst thing about your house is lack of privacy. You share your room with a younger sister. You think she goes through all your stuff. She asks you ambarrassing questions about boys, makes little nasty comments about you.

Your parents treat you like a baby. Your father is too much interested in your studying and homework. Your mother makes you do the work about the house alone. You are going to leave home as soon as you are old enough.

- Collect all the arguments to explain your attitude to your family.
- Listen to what the members of your family are saying.
- Don't interrupt them.
- Don't forget that both parents and children are to blame in conflict situations.
- Be polite and friendly

Role card 2

Mother

Your daughter has written a letter of complaint to the youth magazine. She is not satisfied with your attitude to her. You have read this letter. You are worried about the situation in the family and have decided to discuss the problems with a family therapist.

- Say why you have invited the therapist
- Try to explain Sasha's attitude to you and the whole family.
- Think of your questions to Sasha
- Be objective to her problems – you might have never taken them seriously!
- Try to analyse the situation, don't criticize Sasha

- Follow the therapist's advice
- Be polite and friendly

Role card 3

Father

Your daughter is complaining that you treat her like a baby. You don't let her out at night during the week. You always ask her about the boys. You don't believe her when she says she doesn't have any homework to do. Your wife has invited a family therapist to discuss the problems of your family.

- Say what your attitude to the problem is
- Try to explain Sasha's attitude to you and the whole family.
- Think of your questions to Sasha
- Be objective to her problems – you might have never taken them seriously!
- Try to analyse the situation, don't criticize Sasha
- Follow the therapist's advice
- Be polite and friendly

Role card 4

Sister

Sasha is complaining that you don't help her with the work about the house. She also says that she can't keep anything secret in her room, you go through all her stuff. She is irritated by your behaviour. She is going to leave your home as soon as she is old enough.

- Say what your attitude to the problem is
- Try to explain Sasha's attitude to you and the whole family.
- Think of your questions to Sasha
- Be objective to her problems – you might have never taken them seriously!
- Try to analyse the situation, don't criticize Sasha
- Follow the therapist's advice
- Be polite and friendly

Role card 5

Family therapist

- Encourage all the members of the family to speak
- Take notes
- Ask questions
- Summarize what you have heard from all the members of the family
- Try to analyse the situation in a short report

2.1.2 Подготовка к практико-ориентированному заданию

Подготовьте устные высказывания по темам:

1. From the history of the Ural State Mining University.
2. Faculties and specialities of the University.
3. The layout of the Ural State Mining University.
4. Student's academic work.

Подготовьте письменные ответы на вопросы:

1. Where do you study?
2. What faculty do you study at?
3. How many faculties are there at the Ural State Mining University?
4. What year are you in?
5. What is your future speciality?
6. What specialities are there at your faculty?
7. When did you enter the University?

8. When was the Sverdlovsk Mining Institute founded?
9. When was it reorganized into the University?
10. In how many buildings is the Ural State Mining University housed?
11. In what building is your faculty housed?
12. Who is the dean of your faculty?
13. What books do you take from the library?
14. Where do you live?
15. Where do you usually have your meals?
16. How long does the course of studies for a bachelor's degree last?
17. How long do the students study for a Diplomate Engineer's course and a Magister's degree?
18. What subjects do you study this term?
19. What lectures and practical classes do you like to attend?
20. Where do the students have their practical work?
21. When do the students present their graduation papers for approval?
22. What graduates can enter the post-graduate courses?
23. What kind of sport do yon like?
24. Where do you go in for sports?

2.1.3 Подготовка к опросу

Ответьте на вопросы на иностранном языке:

1. What specialities does the geological faculty train geologic engineers in?
2. What problems does Geology study?
3. What branches is Geology divided into?
4. What does Economic Geology deal with?
5. What does mineralogy investigate?
6. What does paleontology deal with?
7. What is the practical importance of Geology?
8. Where do graduates of the geological faculty of the Mining University work?
9. What is your future speciality?
10. What kind of work do geologists-prospectors conduct?
11. What do geologists explore during the early stages of geological exploration?
12. What work do geologists conduct while working in. the field?
13. When do geologists start exploratory work?
14. What is the purpose of the exploratory work?
15. How is exploratory work conducted?
16. What contribution do geologists make to the development of the National Economy of our country?
17. What does hydrogeology deal with?
18. Where are ground waters used?
19. Where is thermal (hot) water used?
20. What must hydrogeologists do with ground waters which complicate construction work or mineral extraction?

2.2 Дополнительное чтение профессионально ориентированных текстов и выполнение заданий на проверку понимания прочитанного (по 2 текста на тему)

Text 1: A.M. Terpigorev (1873-1959)

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

to defend graduation paper (thesis) - защищать дипломную работу (диссертацию)

to pass an entrance examination - сдать вступительный экзамен

to get a higher education - получить высшее образование

to do one's best (one's utmost, all one can, everything in one's power) - сделать все возможное, не жалеть сил

to make contribution (to) - вносить вклад в *(науку, технику* и т.д.)

choose (chose, **chosen**) - v выбирать; **choice -** *n* выбор

collect - v собирать, коллекционировать

dangerous - *a* опасный

deposit - *n* месторождение, залежь; **bedded deposits -** пластовые месторождения

describe - v описывать, изображать; **description** - *n* описание; **descriptive** - *a* описательный

facility - *n (pl* **facilities)** средства; возможности; оборудование; устройства

fire damp - *n* рудничный газ, метан

harm - *n* вред; *v* вредить; **harmful -** *a* вредный

relate - v относиться, иметь отношение

safety - *n* безопасность; **mine safety** безопасность труда при горных работах; техника безопасности; **safety measures** меры безопасности; **safe -** *a* безопасный; надежный

seam - *n* пласт *(угля); syn* **bed, layer; flat seam** горизонтальный, пологопадающий пласт; **inclined seam** наклонный пласт; **steep seam** крутопадающий пласт; **thick seam** мощный пласт; **thin seam** тонкий пласт

state - *n* состояние; государство; штат; *a* государственный; v заявлять; констатировать; излагать

success - *v* успех; удача; **be a success** иметь успех; **successful** *a* успешный

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

Academician A.M. Terpigorev is a well-known mining engineer who successfully combined his practical experience with scientific research. He was bom in 1873 in Tambov. In 1892 he finished school with honours1 and decided to get a higher education. He chose the Mining Institute in St. Petersburg, passed all the entrance examinations successfully and became a student of the Mining Institute.

At the Institute he studied the full range of subjects2 relating to metallurgy, mining and mining mechanics.

At that time students' specialization was based on descriptive courses and elementary practical training. One of the best lecturers was A. P. Karpinsky. His lectures on historical geology were very popular.

During his practical training Terpigorev visited mines and saw that the miners' work was very difficult. While he was working in the Donbas he collected material for his graduation paper which he soon defended. The Mining of flat seams in the Donbas was carefully studied and described in it.

In 1897 Terpigorev graduated from the Institute with a first-class diploma of a mining engineer.

His first job as a mining engineer was at the Sulin mines where he worked for more than three years first as Assistant Manager and later as Manager.

From 1900 till 1922 Terpigorev worked at the Yekaterinoslav Mining Institute (now the Mining Institute in Dnepropetrovsk).

In 1922 he accepted an offer to take charge of the mining chair at the Moscow Mining Academy and moved to Moscow. From 1930 he headed the chairs5 of Mining Transport and Mining of Bedded Deposits at the Moscow Mining Institute.

Academician Terpigorev took a particular interest in mine safety. As a result of his investigations a series of safety measures in gassy collieries was worked out. For some time he was working on the problem of fire damp, the most harmful and dangerous of all the gases in mines.

His two-volume work Coal Mining and Mine Transport Facilities is a full description of the state of mechanization and the economy of the Donbas. His other works are about mining transport facilities, mechanization of coal mining and mining machinery. He is one of the pioneers in scientific methods of coal gasification.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. After school Terpigorev decided to work in a mine.
2. Terpigorev collected material for his graduation paper which dealt with mining thick seams in the Donbas.
3. For more than three years Terpigorev worked at the Sulin mines.
4. In 1922 Terpigorev accepted an offer to take charge of the mining chair at the Moscow Mining Institute.
5. He investigated the problems of mine safety.
6. He was one of the first to work on the problem of gasification of coal.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. When and where was Terpigorev born?
2. What institute did he graduate from?
3. What material did he collect while he was working in the Donbas?
4. Where did Terpigorev work from 1900 till 1922?
5. At what institute did Terpigorev head the chair of Mining Bedded Deposits?
6. What did Terpigorev take a particular interest in?
7. What works by Terpigorev do you know?
8. What problems do Terpigorev's works deal with?
9. What was the result of his investigations on mine safety?

3. Переведите следующие сочетания слов.

а) охрана труда в шахтах
б) подтверждать
в) добыча угля
г) эксплуатация месторождений
д) метан
е) принять предложение
ж) выполнить задачу, задание
з) горизонтальный пласт
и) собирать материал

1. поступить в институт
2. решать важные проблемы
3. выдающиеся исследователи
4. успешно провести эксперименты
5. выбрать профессию
6. описательный курс
7. происхождение железной руды
8. начальник шахты
9. мероприятия по охране труда

Text 2: A.P. Karpinsky (1847-1936)

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

abroad - *adv* за рубежом
confirm - v подтверждать; утверждать
consider - v считать, полагать, рассматривать
contribute - v вносить вклад; **contribution** вклад
crust - *n* земная кора
detailed - a подробный, детальный
elect - v избирать, выбирать *(голосованием);* назначать *(на должность)*
embrace - v охватывать; обнимать
entire - *a* весь, целый; полный; *syn* **whole**
exist – *v* существовать, быть, жить
foreign - *a* иностранный
former - *a* прежний

investigate - v исследовать; изучать

prominent - *a* знаменитый, выдающийся, известный; *syn* **remarkable, outstanding**

regularity - *n* закономерность

significant - *a* значительный; **significance -** *n* значение, важность; **exhaust the significance** исчерпывать значение

society – *n* общество

staff - *n* персонал; личный состав; штат

various - *a* различный, разный, разнообразный

to advance the view - высказывать мнение *(точку зрения)*

to be interested in - быть заинтересованным *(чём-л.),* интересоваться

to take (an) interest in - заинтересоваться *(чём-л.)*

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

V.A. Obruchev, I.M. Gubkin, A.Y. Fersman, V.I. Vernadsky and A. P. Karpinsky were the prominent Russian scientists who laid the foundation1 of the Russian school of geology and mining.

An entire epoch in the history of Russian geology is connected with Karpinsky's name. One of the greatest Russian geologists, he was a member and for some time President of the Academy of Sciences of the former USSR and a member of several Academies abroad. The Geological Society of London elected him a foreign member in 1901. His greatest contribution to geology was a new detailed geological map of the European part of Russia and the Urals.

For many years he headed the Russian Geological Committee the staff of which was made up of his pupils. He was one of those geologists who embraced the whole of geological science. He created the new stratigraphy of Russia. He studied the geological systems in various regions of the country and was the first to establish3 the regularity of the Earth's crust movement. His paleontological studies are of no less importance, especially those on palaeozoic ammonoids. He also took an interest in deposits of useful minerals and gave a classification of volcanic rocks. He advanced the view that petroleum deposits existed in Russian, which was confirmed later. He studied some ore and platinum deposits and may be justly considered5 the founder of practical geology of the Urals. He was the first Russian scientist who introduced microscope in the study of petrographic slides.

Karpinsky was a prominent scientist, an excellent man and citizen. He was one of the best lecturers at the Mining Institute in his time. He was also one of the greatest Russian scientists who later became the first elected President of the Academy of Sciences of the USSR. Students were attracted to him not only because he was a great scientist but also because of his charming personality and gentle manner.

Every geologist and every geology student knows very well Karpinsky's most significant work An Outline of the Physical and Geographical Conditions in European Russia in Past Geological Periods.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Karpinsky was the first President of the Academy of Sciences.
2. He worked at the Mining Institute in St.Petersburg.
3. Karpinsky was a member of many Academies abroad.
4. Karpinsky made up a detailed map of the Asian part of our country.
5. He headed the Russian Geological Committee.
6. Karpinsky created a new branch of geology, namely stratigraphy.
7. He only tried to establish the regularity of the Earth's crust movement.
8. Karpinsky may be justly considered the founder of the practical geology of the Urals.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What society elected Karpinsky a foreign member and when?
2. Did he head the Russian Geological Committee or was he a member of that Committee?

3. Did Karpinsky investigate various regions of the Russian territory?
4. Which of his works are the most remarkable?
5. What can you say about Karpinsky's investigations in petrology?

3. Переведите следующие сочетания слов.

а) земная кора
б) составить подробную карту
в) замечательные работы
г) выдающийся ученый
д) залежи полезных ископаемых
е) научное общество
ж) избирать председателя (президента)
з) заложить основы школы
и) интересоваться геологией
к) высказать точку зрения
л) возглавлять комитет

Text 3: Sedimentary Rocks

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

cause - v заставлять; вызывать; влиять; причинять; *n* причина, основание; дело; общее дело; *syn* **reason**
clay - *n* глина; глинозем
consolidate - v твердеть, затвердевать, уплотнять(ся); укреплять; *syn* **solidify**
crust - *n* кора; *геол.* земная кора
decay - v гнить, разлагаться; *n* выветривание *(пород);* распад, разложение
derive - v (from) происходить, вести свое происхождение *(от);* наследовать
destroy - v разрушать; уничтожать; **destructive** *a* разрушительный
dissolve v растворять
expose - v выходить *(на поверхность);* обнажаться; **exposure** - *n* обнажение
external - *a* внешний
extrusive - *a* эффузивный, излившийся *(о горной породе)*
force - v заставлять, принуждать; ускорять движение; *n* сила; усилие
glacier - *n* ледник, глетчер
grain - *n* зерно; **angular grains** - угловатые зерна *(минералов);* **grained** - *a* зернистый
gravel - *n* гравий, крупный песок
internal - *a* внутренний
intrusive - *a* интрузивный, плутонический
iron - *n* железо
layer - *n* пласт
like - *a* похожий, подобный; *syn* **similar;** *ant* **unlike;** *adv* подобно
lime - *n* известь; **limestone** - *n* известняк
loose - *a* несвязанный, свободный; рыхлый
make up - v составлять; *n* состав *(вещества)*
particle - *n* частица; включение
peat - *n* торф; торфяник
represent - v представлять собою; означать; быть представителем; **representative** - представитель; **representative** - *a* характерный, типичный
rock – *n* горная порода; **igneous** - изверженная порода; **sedimentary** - осадочная порода
sand - *n* песок
sandstone - *n* песчаник; **fine-grained (medium-grained, coarse-grained)** - мелкозернистый (среднезернистый, грубозернистый) песчаник
sediment - *n* отложение; осадочная порода; **sedimentary** - *a* осадочный; **sedimentation** - *n* образование осадочных пород

schist - *n (кристаллический)* сланец; **schistose** - *a* сланцеватый, слоистый
shale - *n* сланец, сланцевая глина, глинистый сланец; **clay** - глинистый сланец; **combustible …, oil …** - горючий сланец
siltstone - *n* алеврит
stratification - *n* напластование, залегание
stratify - v напластовываться; отлагаться пластами; **stratified** *a* пластовый; *syn* **layered, bedded**
substance - *n* вещество, материал; сущность
thickness - *n* толщина, мощность
value - *n* ценность; важность; величина; значение; **valuable** - *a* ценный *(о руде)*
vary - v изменять(ся); отличать(ся); *syn* **differ, change (from); variable** - *a* переменный; непостоянный; **various** *a* различный; *syn* **different**

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

The rocks of the Earth's crust are divided into three main groups: sedimentary rocks, which consist of fragments or particles of pre-existing rocks; igneous rocks which have solidified from magma and metamorphic rocks. Metamorphic rocks have been derived from either igneous or sedimentary rocks.

Sedimentary rocks represent one of the three major groups of rocks that make up the crust of the Earth. Most sedimentary rocks have originated by sedimentation. They are layered or stratified. Thus, stratification is the most important characteristic of sediments and sedimentary rocks. It is necessary to note that the processes which lead to the formation of sedimentary rocks are going on around us.

Sediments are formed at or very near the surface of the Earth by the action of heat, water (rivers, glaciers, seas and lakes) and organisms.

It should be noted that 95 per cent of the Earth's crust is made up of igneous rocks and that only 5 per cent is sedimentary. In contrast, the amount of sedimentary rocks on the Earth's surface is three times that of igneous rocks.

Strictly speaking, sedimentary rocks form a very small proportion by volume of the rocks of the Earth's crust. On the contrary, about three quarters of the Earth's surface is occupied by sedimentary rocks. It means that most of sedimentary rocks are formed by sediments, accumulations of solid material on the Earth's surface.

The thickness of the layers of sedimentary rocks can vary greatly from place to place. They can be formed by the mechanical action of water, wind, frost and organic decay. Such sediments as gravel, sand and clay can be transformed into conglomerates, sandstones and clay schists as a result of the accumulation of materials achieved by the destructive mechanical action of water and wind.

Mechanical sediments can be unconsolidated and consolidated. For example, gravel, sand and clay form the group of unconsolidated mechanical sediments, because they consist of loose uncemented particles (grains).

On the Earth's surface we also find consolidated rocks, which are very similar to the loose sediments whose particles are firmly cemented to one another by some substance. The usual cementing substances are sand, clay, calcium carbonate and others. Thus sandstones are consolidated rocks composed of round or angular sand grains, more or less firmly consolidated. Like sand, sandstones can be divided into fine-grained, medium-grained and coarse-grained.

On the other hand, chemical sediments are the result of deposits or accumulations of substances achieved by the destructive chemical action of water. The minerals such as rock salt, gypsum and others are formed through sedimentation of mineral substances that are dissolved in water.

Sediments can also be formed by the decay of the remains of organisms, by the accumulation of plant relics.1 They are called organic sediments. Limestones, peat, coal, mineral oil and other sediments may serve as an example of organic sediments.

The most principal kinds of sedimentary rocks are conglomerate, sandstone, siltstone, shale, limestone and dolomite. Many other kinds with large practical value include common salt, gypsum, phosphate, iron oxide and coal.

As is known, water, wind and organisms are called external forces, because their action depends on the energy which our planet receives from the Sun.

1). Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. The rocks of the Earth's crust are divided into two main groups.
2. Igneous rocks are composed of particles of pre-existing rocks.
3. Sedimentary rocks are stratified.
4. Sediments are formed by the action of glaciers.
5. Igneous rocks make up 75 per cent of exposed rocks.
6. Conglomerates are formed as a result of the accumulation of materials caused by the destructive mechanical action of water.
7. Sandstones are consolidated rocks.
8. Clays are unconsolidated mechanical sediments.
9. Chemical sediments are formed by the destructive chemical action of water.
10. Peat and coal are the organic sediments which are of great practical value.
11. Clay schist was formed at the beginning of the sedimentation period and clay was formed later.

2). Ответьте на вопросы:

1. What main groups of rocks do you know?
2. Do sedimentary rocks consist of particles of pre-existing rocks?
3. How were igneous rocks formed?
4. Do you know how sedimentary rocks have originated?
5. What is the most important characteristic feature of sediments?
6. Do sedimentary rocks account for 10 per cent of the Earth's crust?
7. Is gravel consolidated mechanical sediment? And what about sand and clay?
8. What are cementing substances? Can calcium carbonate be used as a cementing substance?
9. Are there only fine-grained sandstones?
10. What can you say about chemical sediments?
11. Can you give an example of organic sediments? How are they formed?

3) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов.

1.	земная кора	а) sandstone
2.	растворяться в воде	б) fine-grained sand
3.	песчаник	в) the Earth's crust
4.	уплотненные осадки	г) exposed rocks
5.	изверженные породы	д) to dissolve in water
6.	мелкозернистый песок	е) like gypsum
7.	затвердевать	ж) consolidated sediments
8.	подобно гипсу	з) igneous rocks
9.	обнаженные породы	и) to solidify, to consolidate

б) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих сочетаний слов.

1.	coarse-grained sand	а) разрушительная сила воды
2.	siltstone and shale	б) пластовые месторождения
3.	the destructive action of water	в) доледниковый период

4.	existing rocks	г) крупнозернистый (грубо- зернистый) песок
5.	chemical decay	д) частицы вещества
6.	sedimentary rocks	е) алеврит и сланец
7.	stratified deposits	ж) существующие породы
8.	pre-glacial period	з) осадочные породы
9.	particles of a substance	и) химический распад

Text 4: Weathering of Rocks

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

contain - v содержать *(в себе),* вмещать
crack - *n* трещина; щель; v давать трещину; трескаться, раскалываться
contract - v сжиматься; сокращаться
dust - *n* пыль
expand - v расширяться); увеличивать(ся) в объеме; **expansion** *n* расширение; *ant* **contract**
fissure - *n* трещина *(в породе, угле);* расщелина; щель
fracture - *n* трещина; излом; разрыв; v ломать(ся); раздроблять *(породу)*
freeze - *v* замерзать; замораживать; застывать
gradual - *a* постепенный; **gradually** *adv* постепенно
hard - *a* твердый, жесткий; *ant* **soft;** тяжелый (о *работе); adv* сильно, упорно; **hardly** *adv* едва, с трудом
hole - *n* отверстие; скважина; шпур; шурф
influence - *n* влияние; v **(on, upon)** влиять (не *что-л.)*
lateral - *a* боковой
occur - *v* залегать; случаться; происходить; *syn* **take place, happen; occurrence** - *n* залегание; **mode of occurrence** - условия залегания
penetrate - *v* проникать *(внутрь),* проходить через *(что-л.)*
phenomenon - *n* явление; *pi* **phenomena**
pressure - *n* давление; **lateral pressure** боковое *(горизонтальное)* давление; **rock pressure** горное давление, давление породы
rate - *n* степень, темп; скорость, норма; производительность; сорт; *syn* **speed, velocity**
refer - v (to) ссылаться *(на что-л.);* относиться *(к периоду, классу)*
resist - *v* сопротивляться; противостоять; противодействовать; **resistance** - *n* сопротивление; **resistant** - *a* стойкий; прочный; сопротивляющийся
size - *n* размер; величина; класс *(угля)*
solution – *n* раствор; **soluble** - *a* растворимый; **solvent** - растворитель; *a* растворяющий
succession – *n* последовательность, непрерывный ряд; **in succession** последовательно
undergo (underwent, undergone) - *v* испытывать *(что-л.),* подвергаться *(чему-л.)*
uniform – *a* однородный; одинаковый
weathering - *n* выветривание; эрозия *(воздействию, влиянию и т.д.)*
to be subjected to подвергаться

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

All rocks which are exposed on the Earth's surface (high mountain peaks, deserts) are decomposed to a certain degree. The process of rock disintegration by the direct influence of local atmospheric conditions on the Earth's surface is called weathering. This phenomenon is often referred to in geology because weathering is an active process. It takes place in the upper layers of the Earth's crust.

The main cause of physical weathering is the change in temperature that takes place with the succession of day and night. This phenomenon can best be observed in the deserts and high mountains where the changes in temperature are common.

During the day under the influence of heat, rocks expand whereas at night they begin to contract. As rocks are generally composed of different minerals, their expansion and contraction do not occur uniformly. As a result of this rocks crack. At the beginning these cracks or fissures are hardly noticeable but gradually they become wider and deeper until the whole surface of rock is finally transformed into gravel, sand or dust.

In the regions of a moderate or cold climate, where the temperature in winter goes down to below 0 (zero), the decomposition of rocks is greatly facilitated by the action of water. When water freezes it increases in volume and develops enormous lateral pressure. Under the action of water, rocks decompose to pieces of varied forms and sizes.

The decomposition of rocks under the direct influence of heat and cold is called physical weathering.

Rocks are subjected not only to physical decomposition but also to chemical weathering, i.e. to the action of chemical agents, such as water, carbon dioxide and oxygen. In a general way, chemical weathering is an acid attack on the rocks of the Earth's crust, in particular an attack on the most abundant minerals — quartz (sand) and aluminosilicates (clays). Only few minerals and rocks are resistant to the action of natural waters. The solvent action of water is stronger when it contains carbon dioxide. Water causes more complex and varied changes. With the participation of oxygen and carbon dioxide up to 90 per cent of rocks is transformed into soluble minerals, which are carried away by the waters.

Organisms and plants also take part in the disintegration of rocks. Certain marine organisms accelerate the destruction of rocks by making holes in them to live in. The action of plants can often be even more destructive. Their roots penetrate into the fissures of rocks and develop the lateral pressure which fractures and destroys rocks.

1. Укажите, какие предложены соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. The process of sedimentation is called weathering.
2. The change in temperature causes physical weathering.
3. As a rule during the night rocks expand.
4. When freezing water decreases in volume and develops enormous lateral pressure.
5. The decomposition of rocks is due to the influence of heat and cold.
6. As a rule water contains dissolved mineral substances.
7. The solvent action of water is stronger when it does not contain carbon dioxide.
8. It should be noticed that the action of organisms and plants is destructive.
9. Certain marine organisms accelerate the destruction of rocks.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What process is called weathering?
2. What process is called physical weathering?
3. Where can the phenomenon of physical weathering be best observed?
4. What process is called chemical weathering?
5. What substances can act as solvents?
6. Are all minerals and rocks resistant to the action of natural waters or only few minerals and rocks can resist the action of water?
7. How do organisms act on the destruction of rocks?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. the Earth's surface
2. to be composed of different minerals
3. the expansion of rocks
4. changes in temperature

5. under the influence of heat
6. weathering
7. destructive forces
8. a great number of fractures
9. to penetrate into fissures

а) под влиянием тепла
б) разрушительные силы
в) выветривание
г) большое количество трещин
д) состоять из различных минералов
е) расширение пород
ж) проникать в трещины
з) изменения температуры
и) поверхность земли

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. увеличиваться в объеме
2. развивать боковое давление
3. способствовать разрушению пород
4. подвергаться гниению
5. растворять вещества
6. сопротивляться (чему-л.)
7. некоторые органические вещества
8. ускорять процесс выветривания
9. куски породы различных размеров

а) to facilitate the decomposition of rocks
б) to increase in volume
в) to resist (smth)
г) rock pieces of varied (different) sizes
д) to accelerate the process of weathering
е) to be subjected to decay
ж) to dissolve substances
з) to develop lateral pressure
и) certain organic substances

Text 5: Fossil Fuels

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

accumulate - v накапливать; скопляться
ancient - *a* древний, старинный; *ant* **modern**
associate - v связывать, соединять, ассоциироваться; *syn* **connect, link**
burn (burnt) - v сжигать; гореть; жечь
charcoal - *n* древесный уголь
convenient - *a* удобный, подходящий
crude - *a* сырой, неочищенный
dig (dug) - v добывать; копать; **digger** - n угольный экскаватор; землеройная машина
divide - v делить; (from) отделять; разделять
evidence - *n* доказательство; очевидность; признак(и)
fossil - *a* окаменелый, ископаемый; *n* ископаемое *(органического происхождения);* окаменелость
heat - v нагревать; *n* теплота
liquid - *a* жидкий; n жидкость; *ant* **solid**

manufacture - *v* изготовлять, производить; *syn* **produce**
mudstone - *n* аргиллит
purpose - *n* цель; намерение; *syn* **aim, goal**
shale - *n* глинистый сланец
the former … the latter - первый *(из вышеупомянутых)* последний *(из двух названных)*

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

The chief sources of energy available to man today are oil, natural gas, coal, water power and atomic energy. Coal, gas and oil represent energy that has been concentrated by the decay of organic materials (plants and animals) accumulated in the geologic past. These fuels-are often referred to as fossil fuels.

The word fossil (derived from the Latin fodere "to dig up") originally referred to anything that was dug from the ground, particularly a mineral. Today the term fossil generally means any direct evidence of past life, for example, the footprints of ancient animals. Fossils are usually found in sedimentary rocks, although sometimes they may be found in igneous and metamorphic rocks as well. They are most abundant in mudstone, shale and limestone, but fossils are also found in sandstone, dolomite and conglomerate.

Most fuels are carbon-containing substances that are burned in air. In burning fuels give off heat which is used for different purposes.

Fuels may be solid, liquid and gaseous. Solid fuels may be divided into two main groups, natural and manufactured. The former category includes coal, wood, peat and other plant products. The latter category includes coke and charcoal obtained by heating coal in the absence of air.

Liquid fuels are derived almost from petroleum. In general, natural petroleum, or crude oil, as it is widely known, is the basis of practically all industrial fuels. Petroleum is a mixture of hundreds of different hydrocarbons — compounds composed of hydrogen and carbon — together with the small amount of other elements such as sulphur, oxygen and nitrogen. Petroleum is usually associated with water and natural gas. It is found in porous sedimentary rocks where the geological formation allowed the oil to collect from a wide area. Petroleum is one of the most efficient fuels and raw materials.

Of gaseous fuels the most important are those derived from natural gas, chiefly methane or petroleum. Using gaseous fuels makes it possible to obtain high thermal efficiency, ease of distribution and control. Gas is the most economical and convenient type of fuels. Today gas is widely utilized in the home and as a raw material for producing synthetics.

Scientists consider that a most promising source of natural resources may be the floor of the sea, a subject which now has become an important field of research.

Generally speaking, all types of fossil fuels described in the text are of great economic importance as they represent the sources of energy the man uses today.

1. Укажете, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Coal, water power and atomic energy are the only sources of energy available to man today.
2. Coal, wood and peat represent natural group of solid fuels.
3. As a rule fossil fuels are found in sedimentary rocks.
4. Crude oil is widely used for producing solid fuels.
5. Petroleum can be found in porous sedimentary rocks.
6. Gas is used to produce synthetic materials.
7. Not all types of fossil fuels burn.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What fuels are often referred to as fossil fuels?
2. What does the word fossil mean?
3. What rocks are most abundant hi fossil fuels?

4. What types of fossil fuels do you know?
5. Is coke a natural or manufactured solid fuel? And what can you say about coal and peat?
6. How are coke and charcoal produced?
7. What rocks is petroleum usually associated with?
8. What are the advantages of gaseous fuels?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов сочетаний слов.

1.	fossil fuel	а) дерево и торф
2.	raw material	б) небольшое количество аргиллита
3.	crude oil	в) органическое топливо
4.	the chief sources of energy	г) сланец и известняк
5.	to refer to	д) сырье
6.	any direct or indirect evidence of the deposit	е) материалы, содержащие углерод
7.	shale and limestone	ж) главные источники энергии
8.	carbon-containing materials	з) любые прямые или косвенные признаки месторождения
9.	wood and peat	и) сырая (неочищенная) нефть
10.	the small amount of mudstone	к) относиться к (чему-л.); ссылаться на (что-л.)

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов.

1.	древесный уголь и кокс	а) to collect data
2.	жидкое топливо	б) charcoal and coke
3.	накапливать	в) to be composed of limestones
4.	собирать данные	г) liquid fuel
5.	происходить от	д) to accumulate
6.	получать хорошие результаты	е) to derive from
7.	богатый горючими сланцами	ж) to obtain good results
8.	состоять из известняков	з) abundant in oil shales

Text 6: Coal and Its Classification

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

bench - *n* слой, пачка *(пласта)*
blend - v смешивать(ся); вклинивать(ся)
combustion - *n* горение, сгорание; **spontaneous combustion** самовоспламенение, самовозгорание
continuity - *n* непрерывность, неразрывность
domestic - *a* внутренний; отечественный
estimate - v оценивать; *n* оценка; смета
fault - *n* разлом, сдвиг *(породы);* сброс; **faulting** *n* образование разрывов или сбросов
fold - *n* изгиб, складка, флексура; **foulding** - *n* складчатость, смешение *(пласта)* без разрыва
inflame - v воспламеняться; загорать(ся); **inflammable** - *a* воспламеняющийся, горючий, огнеопасный; **flame** - *n* пламя
intermediate - *a* промежуточный; вспомогательный
liable - *a* (to) подверженный; подлежащий *(чему-л.)*
luster - *n* блеск *(угля, металла);* **lustrous** - *a* блестящий
matter - *n* вещество; материя
moisture - *n* влажность, сырость; влага
parting - *n* прослоек
plane - *n* плоскость; **bedding plane** плоскость напластования
rank - *n* класс, тип; **coal rank** группа угля, тип угля
regular - *a* правильный; непрерывный; *ant* **irregular** неправильный; неравномерный; **regularity** *n* непрерывность; правильность

similar - *a* похожий, сходный; подобный; *syn* **alike, the same as**
smelt - v плавить *(руду);* выплавлять *(металл)*
store - v запасать, хранить на складе; вмещать
strata - *n pl от* **stratum** пласты породы; свита *(пластов);* формация, напластования породы; *syn* **measures**
thickness - *n* мощность *(пласта, жилы)*
uniform - *a* однородный; равномерный; **uniformity** *n* однородность; единообразие
utilize - v использовать; *syn* **use, apply, employ**
volatile - *a* летучий, быстро испаряющийся

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

Coal is the product of vegetable matter that has been formed by the action of decay, weathering, the effects of pressure, temperature and time millions of years ago.

Although coal is not a true mineral, its formation processes are similar to those of sedimentary rocks.

Structurally coal beds are geological strata characterized by the same irregularities in thickness, uniformity and continuity as other strata of sedimentary origin. Coal beds may consist of essentially uniform continuous strata or like other sedimentary deposits may be made up of different bands or benches of varying thickness.

You can see a seam limited by two more or less parallel planes, a shape which is typical of sedimentary rocks. The benches may be separated by thin layers, of clay, shale, pyrite or other mineral matter, commonly called partings. Like other sedimentary rocks coal beds may be structurally disturbed by folding and faulting.

According to the amount of carbon coals are classified into: brown coals, bituminous coals and anthracite. Brown coals are in their turn subdivided into lignite and common brown coal. Although carbon is the most important element in coal, as many as 72 elements have been found in some coal deposits, including lithium, chromium, cobalt, copper, nickel, tungsten and others.

Lignite is intermediate in properties between peat and bituminous coal, containing when dry about 60 to 75 per cent of carbon and a variable proportion of ash. Lignite is a low-rank brown-to-black coal containing 30 to 40 per cent of moisture. Developing heat it gives from 2,500 to 4,500 calories. It is easily inflammable but burns with a smoky flame. Lignite is liable to spontaneous combustion. It has been estimated that about 50 per cent of the world's total coal reserves are lignitic.

Brown coal is harder than lignite, containing from 60 to 65 per cent of carbon and developing greater heat than lignite (4,000-7,000 calories). It is very combustible and gives a brown powder. Bituminous coal is the most abundant variety, varying from medium to high rank. It is a soft, black, usually banded coal. It gives a black powder and contains 75 to 90 per cent of carbon. It weathers only slightly and may be kept in open piles with little danger of spontaneous combustion if properly stored. Medium-to-low volatile bituminous coals may be of coking quality. Coal is used intensively in blast furnaces for smelting iron ore. There are non-coking varieties of coal.

As for the thickness, the beds of this kind of coal are not very thick (1-1.5 meters). The great quantities of bituminous coal are found in the Russian Federation.

Anthracite or "hard" coal has a brilliant lustre containing more than 90 per cent of carbon and low percentage of volatile matter. It is used primarily as a domestic fuel, although it can sometimes be blended with bituminous grades of coal to produce a mixture with improved coking qualities. The largest beds of anthracite are found in Russia, the USA and Great Britain.

Coal is still of great importance for the development of modern industry. It may be used for domestic and industrial purposes. Being the main source of coke, coal is widely used in the iron and steel industry. Lignite, for example either in the raw state or in briquetted form, is a source of industrial carbon and industrial gases.

There is a strong tendency now for increased research into new technologies to utilize coal. No doubt, coal will be used as a raw material for the chemical industry and petrochemical processes. All

these processes involve coal conversion which include gasification designed to produce synthetic gas from coal as the basis for hydrogen manufacture, liquefaction (разжижение) for making liquid fuel from coal and other processes.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. Anthracite coals may be divided into lignite and common brown coal.
2. Coals are ranked according to the percentage of carbon they contain.
3. Peat, with the least amount of carbon is the lowest rank, then comes lignite or brown coal.
4. Brown coal is hard and it is not liable to spontaneous combustion.
5. Bituminous coal weathers rapidly and one cannot keep it in open piles.
6. Being intensively used in the iron and steel industry bituminous coal varies from medium to high rank.
7. Anthracite or hard coal, the highest in percentage of carbon, can be blended with bituminous grades of coal.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What is the classification of coal based on?
2. Is carbon the only element in coal? (Prove it.)
3. Is lignite intermediate in properties between peat and bituminous coal?
4. What heat value does lignite develop when burnt?
5. What coals are liable to spontaneous combustion?
6. What is the difference between lignite and brown coal?
7. Is bituminous coal high- or low-volatile?
8. Does anthracite contain 90 per cent of carbon?
9. Where are the largest deposits of anthracite found? And what can you say about bituminous coal?
10. What do you know about the utilization of coal?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1.	spontaneous combustion	а) легковоспламеняющийся газ
2.	moisture and ash content	б) высокосортный уголь
3.	the most abundant variety	в) плавить железную руду
4.	in its turn	г) самовозгорание
5.	the amount of volatile matter	д) содержание влаги и золы
6.	easily inflammable gas	е) дымное пламя
7.	brilliant lustre	ж) наиболее широко распространенные угли
8.	to smelt iron ore	з) яркий блеск
9.	high-rank coal	и) в свою очередь
10.	a smoky flame	к) количество летучих веществ

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов н сочетаний слов:

1.	тип угля	а) heat value
2.	некоксующийся уголь	б) amount of carbon
3.	доменная печь	в) coal rank
4.	содержание углерода	г) to store coal
5.	смешиваться с другими углями	д) to weather rapidly
6.	улучшенного качества	е) non-coking coal
7.	складировать уголь	ж) blast furnace
8.	теплотворная способность	з) of improved quality
9.	быстро выветриваться	и) to blend with other coals

Text 7: General Information on Mining

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

access - *n* доступ

affect - v воздействовать *(на что-л.);* влиять; *syn* **influence**

barren - *a* непродуктивный; пустой *(о породе)*

chute - *n* скат, спуск; углеспускная выработка; жёлоб

compare - v (with) сравнивать, проводить параллель

contribute - v способствовать, содействовать; делать вклад *(в науку);* **make a (one's) ~ to smth.** сделать вклад во что-л.

cross-section - *n* поперечное сечение, поперечный разрез, профиль

develop - v разрабатывать *(месторождение);* развивать *(добычу);* производить подготовительные работы; **development** - *n* подготовительные работы; развитие добычи; развитие

drift - *n* штрек, горизонтальная выработка

ensure - v обеспечивать, гарантировать; *syn* **guarantee**

face - *n* забой; лава

floor - л почва горной выработки, почва пласта (жилы); **quarry** ~ подошва карьера; пол, настил

govern - v править, управлять; руководить; определять, обусловливать

inclination - *n* уклон, скат, наклон *(пластов);* наклонение; **seam** ~ падение *(пласта);* наклон *(пласта)*

incline - *n* уклон, бремсберг, скат; наклонный ствол; **gravity** ~ бремсберг

inclined - *a* наклонный; **flatly** ~ слабо наклонный; **gently ~** наклонного падения; **medium** ~ умеренно наклонный *(о пластах);* **steeply** ~ крутопадающий

level - *n* этаж, горизонт, горизонтальная горная выработка; штольня; уровень *(инструмент);* нивелир; ватерпас; горизонтальная поверхность

recover - v извлекать *(целики);* выбирать, очищать; добывать *(уголь и т.п.);* восстанавливать

remove - v удалять; убирать; устранять; перемещать; **removal** - *n* вскрыша; выемка; уборка *(породы);* извлечение *(крепи);* перемещение; **overburden** - удаление вскрыши

rib - *n* ребро; выступ; узкий целик, предохранительный целик; грудь забоя

roof - *n* крыша; кровля выработки; кровля пласта *(или* жилы); перекрытие; ~ **support** - крепление кровли

shaft - *n* шахтный ствол; **auxiliary** ~ вспомогательный ствол; **hoisting** ~ подъемный ствол; главный шахтный ствол

tabular - *a* пластовый (о *месторождении);* пластообразный; плоский; линзообразный; *syn* **bedded, layered**

waste - *n* пустая порода; отходы; *syn* **barren rock**

well - *n* буровая скважина; колодец, источник; водоем; зумф

capital investment - капитальные вложения

gate road - промежуточный штрек

in bulk - навалом, в виде крупных кусков

metal-bearing - содержащий металл

production face/working - очистной забой

productive mining - эксплуатационные работы

in view of - ввиду чего-л., принимая во внимание что-л.

with a view to - с целью

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

As has been said, mining refers to actual ore extraction. Broadly speaking, mining is the industrial process of removing a mineral-bearing substance from the place of its natural occurrence in the Earth's crust. The term "mining" includes the recovery of oil and gas from wells; metal, non-metallic minerals, coal, peat, oil shale and other hydrocarbons from the earth. In other words, the work done to extract mineral, or to prepare for its extraction is called mining.

The tendency in mining has been towards the increased use of mining machinery so that modern mines are characterized by tremendous capacities. This has contributed to: 1) improving working conditions and raising labour productivity; 2) the exploitation of lower-grade metal-bearing substances and 3) the building of mines of great dimensions.

Mining can be done either as a surface operation (quarries, opencasts or open pits) or by an underground method. The mode of occurrence of the sought-for metallic substance governs to a large degree the type of mining that is practised. The problem of depth also affects the mining method. If the rock containing the metallic substance is at a shallow site and is massive, it may be economically excavated by a pit or quarry-like opening on the surface. If the metal-bearing mass is tabular, as a bed or vein, and goes to a great distance beneath the surface, then it will be worked by some method of underground mining.

Working or exploiting the deposit means the extraction of mineral. With this point in view a number of underground workings is driven in barren (waste) rock and in mineral. Mine workings vary in shape, dimensions, location and function.

Depending on their function mine workings are described as exploratory, if they are driven with a view to finding or proving mineral, and as productive if they are used for the immediate extraction of useful mineral. Productive mining can be divided into capital investment work, development work, and face or production work. Investment work aims at ensuring access to the deposit from the surface. Development work prepares for the face work, and mineral is extracted (or produced) in bulk.

The rock surfaces at the sides of workings are called the sides, or hi coal, the ribs. The surface above the workings is the roof in coal mining while in metal mining it is called the back. The surface below is called the floor.

The factors such as function, direct access to the surface, driving in mineral or in barren rock can be used for classifying mine workings:

I. Underground workings:

a) Long or deep by comparison with their cross-section may be: 1) vertical (shaft, blind pit); 2) sloping (slopes, sloping drifts, inclines); 3) horizontal (drifts, levels, drives, gate roads, adits, crosscuts).

b) Large openings having cross dimensions comparable with their length.

c) Production faces, whose dimensions depend on the thick ness of the deposit being worked, and on the method of mining it.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. As a rule, the term "mining" includes the recovery of oil and gas from wells as well as coal, iron ores and other useful minerals from the earth.
2. The increased use of mining machinery has greatly contributed to raising labour productivity and improving working conditions.
3. It is quite obvious that the problem of depth is not always taken into consideration in choosing the mining method.
4. Productive workings are usually used for the immediate extraction of useful mineral.
5. Underground workings are driven in barren rock or in mineral.
6. A shaft is a vertical underground working which is long and deep in comparison with its cross-section.
7. The surface above the mine working is usually called the floor.
8. The rock surfaces at the sides of mine workings arc called the ribs.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What is mining?
2. What has contributed to the better working conditions of the miners?
3. What factors influence the choice of the mining method?
4. In what case is useful mineral worked by open pits?
5. Are exploratory workings driven with a view to finding and proving mineral or are they driven for immediate extraction of mineral?
6. What is the difference between development and production work?
7. What main factors are used for classifying mine workings?
8. What do the dimensions of production faces depend on?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. direct access to the surface
2. open-cast mining
3. tabular (or bedded) deposits
4. oil well
5. underground workings
6. cross-section of a working
7. production face
8. the roof of the mine working
9. to drive mine workings in barren rock
10. to affect the mining method

а) нефтяная скважина
б) проходить горные выработки по пустой породе
в) влиять на метод разработки
г) прямой доступ к поверхности
д) пластовые месторождения
е) открытая разработка
ж) поперечное сечение выработки
з) подземные выработки
и) очистной забой
к) кровля горной выработки

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов сочетаний слов:

1. способствовать чему-л.
2. размер ствола
3. извлекать, добывать (уголь)
4. штреки и квершлаги
5. пустая порода
6. вообще говоря
7. удалять, перемещать (крепь, вскрышу и др.)
8. с целью ...
9. подготовительные работы
10. мощность пласта

а) thickness of a seam
б) shaft dimension
в) with a view to
г) to contribute to smth.
д) development work
е) to remove (timber, overburden, etc.)
ж) drifts (gate roads) and crosscuts
з) generally speaking

и) to recover (coal)
к) waste (barren) rock

Text 8: Methods of Working Bedded Deposits Underground

Запомните слова и выражения, необходимые для понимания текста:

advantage - *n* преимущество; превосходство; выгода; польза; **advantageous** - *a* выгодный; благоприятный, полезный; **to take advantage of smth** воспользоваться чём-л.

caving - *n* обрушение *(кровли);* разработка с обрушением

deliver - v доставлять, подавать; питать; нагнетать; произносить *(речь);* читать *(лекцию)*

entry - *n* штрек; выработка горизонтальная; *pl* подготовительные выработки; нарезные выработки; штреки

giant - *n* гидромонитор

gravity - *n* сила тяжести; вес, тяжесть; **by ~** самотеком, под действием собственного веса

haul - v доставлять; откатывать; подкатывать; перевозить; **haulage** - *n* откатка; доставка; транспортировка *(по горизонтали)*

longwall - *n* лава; выемка лавами; сплошной забой, сплошная или столбовая система разработки; *syn* **continuous mining; ~ advancing on the strike** выемка лавами прямым ходом по простиранию; сплошная система разработки по простиранию; **~ advancing to the rise** сплошная система разработки с выемкой по восстанию; ~ to **the dip** сплошная система разработки с выемкой по падению; ~ **retreating** выемка лавами обратным ходом; столбовая система разработки лавами

lose (lost) - v терять; **loss -** *n* потеря, убыток

pillar - *n* целик; столб; **shaft** ~ околоствольный целик; ~ **method** столбовая система разработки; ~ **mining** выемка целиков

predominate - v преобладать, превалировать; превосходить; господствовать, доминировать

protect - v охранять, защищать

reach - v простираться, доходить до; добиваться, достигать

satisfy - v удовлетворятъ(ся)

shield - *n* щит; ~ **method** щитовой метод проходки, щитовой способ

room - *n* камера; очистная камера; **room-and-pillar method** камерно-столбовая система разработки

stowing - *n* закладка *(выработанного пространства)*

method of working система разработки

the sequence of working the seams - последовательность отработки пластов

Прочитайте и переведите текст, выполните упражнения на проверку понимания прочитанного:

The method of working (or method of mining) includes a definite sequence and organization of development work of a deposit, its openings and its face work in certain geological conditions. It depends on the mining plan and machines and develops with their improvements. A rational method of working should satisfy the following requirements in any particular conditions: 1) safety of the man; 2) maximum output of mineral; 3) minimum development work (per 1,000 tons output); 4) minimum production cost and 5) minimum losses of mineral.

Notwithstanding the considerable number of mining methods in existence, they can be reduced to the following main types: 1. Methods of working with long faces (continuous mining); 2. Methods of working with short faces (room-and-pillar). The characteristic feature of the continuous mining is the absence of any development openings made in advance of production faces. The main advantage of long continuous faces is that they yield more mineral. Besides, they allow the maximum use of combines (shearers), cutting machines, powered supports and conveyers. The longwall method permits an almost 100 per cent recovery of mineral instead of 50 to 80 per cent obtainable in room-and-pillar methods.

The basic principle of room-and-pillar method is that rooms from 4 to 12 meters wide (usually 6-7) are driven from the entries, each room is separated from each other by a rib pillar. Rib pillars are recovered or robbed after the rooms are excavated. The main disadvantage of shortwall work is a considerable loss of mineral and the difficulty of ventilation. In working bedded deposits methods of mining mentioned above may be used either with stowing or with caving.

In Russia, Germany (the Ruhr coal-field), France and Belgium nearly all the faces are now long ones. In Britain longwall faces predominate.

The USA, Canada, Australia and to some extent India are developing shortwall faces and creating the machines for them. In these countries shortwall faces are widely used.

In Russia the thick seams are taken out to full thickness up to 4.5 m thick if they are steep, and up to 3.5 m thick if they are gently sloping or inclined. In the Kuznetsk coal-field long faces are worked to the dip with ashield protection, using a method proposed by N.Chinakal. In shield mining coal is delivered to the lower working by gravity so that additional haulage is not required.

It should also be noted that in Russia hydraulic mining is widely used as it is one of the most economic and advantageous methods of coal getting. New hydraulic mines are coming into use in a number of coal-fields. Hydraulic mining is developing in other countries as well.

The aim of hydraulic mining is to remove coal by the monitors (or giants) which win coal and transport it hydraulically from the place of work right to the surface. It is quite obvious that the choice of the method of mining will primarily depend on the depth and the shape and the general type of the deposit.

1. Укажите, какие предложения соответствуют содержанию текста. Подтвердите свои ответы фактами из текста.

1. A definite sequence and organization of development work is called mining.
2. Mining methods in existence can be reduced to the two main types.
3. The depth and the shape of the deposit influence the choice of the method of working.
4. As is known, in Belgium all the faces are short now, in Great Britain they amount to 84 per cent.
5. In Australian collieries shortwall faces are widely used.
6. The room-and-pillar method is characterized by the absence of any development openings.
7. High-capacity monitors win coal and transport it hydraulically right to the surface.

2. Ответьте на следующие вопросы:

1. What factors does mining depend on?
2. What is mining?
3. What are the most important factors which affect the choice of the method of working?
4. Do short faces or long faces predominate in Russia? What can you say about the Ruhr coal-field?
5. Is Canada developing shortwall faces or longwall faces?
6. What are the main disadvantages of shortwall faces?
7. What are the two main methods of working?
8. What is the main advantage of long continuous faces?
9. What methods of mining long faces do you know?
10. What method of mining is characterized by the absence of development openings?

3. а) Найдите в правой колонке русские эквиваленты следующих слов в сочетаний слов:

1.	development face	а) сплошная система разработки
2.	great losses	б) выемка целиков
3.	shield method of mining	в) подготовительный забой
4.	continuous mining	г) большие потери
5.	longwall advancing to the dip	д) удовлетворять требованиям
6.	the room-and-pillar method of mining	е) зависеть от геологических условий
7.	to open up a deposit	ж) выемка лавами прямым ходом по падению

8. pillar mining з) щитовая система разработки
9. to satisfy the requirements и) вскрывать месторождение
10. to depend upon the geological conditions к) камерно-столбовая система разработки

б) Найдите в правой колонке английские эквиваленты следующих слов и сочетаний слов:

1. включать (в себя) а) safety
2. выемка лавами обратным ходом б) annual output
3. достигать 50% в) to involve
4. превышать 60% г) to propose a new method of mining
5. безопасность д) long wall retreating
6. годовая добыча е) in connection with difficulties
7. основной недостаток системы разработки ж) to exceed 60 per cent
8. под-этаж з) notwithstanding (in spite of)
9. крутопадающий пласт и) to reach 50 per cent
10. щитовая система разработки к) the main disadvantage of the method of mining
11. предложить новый способ разработки л) sublevel
12. в связи с трудностями м) the shield method of mining
13. несмотря на н) open up a deposit
14. вскрывать месторождение о) steep seam

2.3 Подготовка доклада

Подготовьте доклад по одной из предложенных тем.

1. Inigo Jones (1573-1652)
2. Christopher Wren (1632-1723)
3. Geoffrey Chaucer (1340-1400)
4. Samuel Johnson (1709-1784)
5. Alfred Tennyson (1809-1892)
6. Thomas Hardy (1840-1928)
7. John Milton (1608-1674)
8. William Makepeace Thackeray (1811-1863)
9. Henry Wadsworth Longfellow (1807 – 1882)
10. Joshua Reynolds (1723-1792)
11. Thomas More (1478 – 1535)
12. J.M.W. Turner (1775-1851)
13. Thomas Gainsborough (1727 – 1788)
14. Henry Moor (1898-1986)
15. Henry Irving (1838-1905)
16. William Gilbert (1836-1911)
17. Arthur Sullivan (1842-1900)
18. James Watt (1736 - 1819)
19. Thomas Telford (1757 - 1834)
20. Isambard Kingdom Brunel (1806 – 1859)
21. George Stephenson (1781 – 1848)
22. David Livingstone (1813 – 1873)
23. Tony Blair (1953)
24. Winston Churchill (1874 - 1965)
25. Margaret Hilda Thatcher (1925)
26. Sir Isaac Newton (1642 – 1727
27. Alexander Graham Bell (1847 - 1922)

28. Robert Burns (1759 – 1796)

Правила предоставления информации в докладе

Размер	**А4**
Шрифт	Текстовый редактор Microsoft Word, шрифт Times New Roman 12
Поля	слева – 2 см., сверху и справа – 1 см., снизу – 1
Абзацный отступ	1 см устанавливается автоматически
Стиль	Примеры выделяются курсивом
Интервал	межстрочный интервал – 1
Объем	1 -2 страницы (до 7 минут устного выступления)
Шапка доклада	***Иванова Мария Ивановна*** Екатеринбург, Россия ФГБОУ ВПО УГГУ, МД-13 НАЗВАНИЕ ДОКЛАДА
	Список использованной литературы

Краткое содержание статьи должно быть представлено на 7-10 слайдах, выполненных в PowerPoint.

2.4 Подготовка к тесту

Тест направлен на проверку страноведческих знаний и знаний межкультурной коммуникации. Для этого студентам необходимо повторить материал, представленный в *Социально-культурной сфере общения* по теме «Страны изучаемого языка» (Я и мир). Для успешного написания теста изучите следующий материал:

THE GEOGRAPHICAL POSITION OF GREAT BRITAIN

The United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland covers an area of some 244 thousand square miles. It is situated on the British Isles. The British Isles are separated from Europe by the Strait of Dover and the English Channel. The British Isles are washed by the North Sea in the east and the Atlantic Ocean in the west.

England is in the southern and central part of Great Britain. Scotland is in the north of the island. Wales is in the west. Northern Ireland is situated in the north-eastern part of Ireland.

England is the richest, the most fertile and most populated part in the country. There are mountains in the north and in the west of England, but all the rest of the territory is a vast plain. In the northwestern part of England there are many beautiful lakes. This part of the country is called Lake District.

Scotland is a land of mountains. The Highlands of Scotland are among the oldest mountains in the world. The highest mountain of Great Britain is in Scotland too. The chain of mountains in Scotland is called the Grampians. Its highest peak is Ben Nevis. It is the highest peak not only in Scotland but in the whole Great Britain as well. In England there is the Pennine Chain. In Wales there are the Cumbrian Mountains.

There are no great forests on the British Isles today. Historically, the most famous forest is Sherwood Forest in the east of England, to the north of London. It was the home of Robin Hood, the famous hero of a number of legends.

The British Isles have many rivers but they are not very long. The longest of the English rivers is the Severn. It flows into the Irish Sea. The most important river of Scotland is the Clyde. Glasgow stands on it. Many of the English and Scottish rivers are joined by canals, so that it is possible to travel by water from one end of Great Britain to the other.

The Thames is over 200 miles long. It flows through the rich agricultural and industrial districts of the country. London, the capital of Great Britain, stands on it. The Thames has a wide mouth, that's

why the big ocean liners can go up to the London port. Geographical position of Great Britain is rather good as the country lies on the crossways of the see routes from Europe to other parts of the world. The sea connects Britain with most European countries such as Belgium, Holland, Denmark, Norway and some other countries. The main sea route from Europe to America also passes through the English Channel.

United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland occupies the territory of the British Isles. They lie to the north-west of Europe.

Once upon a time the British Isles were an integral part of the mainland. As a result of sinking of the land surface they became segregated. Great Britain is separated from the continent by the English Channel. The country is washed by the waters of the Atlantic Ocean. Great Britain is separated from Belgium and Holland by the North Sea, and from Ireland — by the Irish Sea.

There are several islands along the coasts. The total area of the British Isles is 325 000 km2. The main islands are Great Britain and Ireland.

The surface of the country is much varied. Great Britain is the country of valleys and plains.

The insular geographical position of Great Britain promoted the development of shipbuilding, different trading contacts with other countries. It has also allowed the country to stay independent for quite a long period of time.

THE BRITISH PARLIAMENT

The British Parliament is the oldest in the world. It originated in the 12th century as Witenagemot, the body of wise councillors whom the King needed to consult pursuing his policy. The British Parliament consists of the House of Lords and the House of Commons and the Queen as its head.

The House of Commons plays the major role in law-making. It consists of Members of Parliament (called MPs for short). Each of them represents an area in England, Scotland, Wales and Ireland.

MPs are elected either at a general election or at a by-election following the death or retirement. Parliamentary elections are held every 5 years and it is the Prime Minister who decides on the exact day of the election. The minimum voting age is 18. And the voting is taken by secret ballot.

The election campaign lasts about 3 weeks, The British parliamentary system depends on political parties.

The party which wins the majority of seats forms the government and its leader usually becomes Prime Minister. The Prime Minister chooses about 20 MPs from his party to become the cabinet of ministers. Each minister is responsible for a particular area in the government. The second largest party becomes the official opposition with its own leader and «shadow cabinet». The leader of the opposition is a recognized post in the House of Commons.

The parliament and the monarch have different roles in the government and they only meet together on symbolic occasions, such as coronation of a new monarch or the opening of the parliament. In reality, the House of Commons is the one of three which has true power.

The House of Commons is made up of six hundred and fifty elected members, it is presided over by the speaker, a member acceptable to the whole house. MPs sit on two sides of the hall, one side for the governing party and the other for the opposition. The first 2 rows of seats are occupied by the leading members of both parties (called «front benches»). The back benches belong to the rank-and-life MPs.

Each session of the House of Commons lasts for 160-175 days. Parliament has intervals during his work. MPs are paid for their parliamentary work and have to attend the sittings.

As mention above, the House of Commons plays the major role in law making. The procedure is the following: a proposed law («a bill») has to go through three stages in order to become an act of Parliament; these are called «readings».

The first reading is a formality and is simply the publication of the proposal. The second reading involves debate on the principles of the bill; it is examination by parliamentary committee.

And the third reading is a report stage, when the work of the committee is reported on to the house. This is usually the most important stage in the process.

When the bill passes through the House of Commons, it is sent to the House of Lords for discussion, when the Lords agree it, the bill is taken to the Queen for royal assent, when the Queen sings the bill, it becomes act of the Parliament and the Law of the Land.

The House of Lords has more than 1000 members, although only about 250 take an active part in the work in the house. Members of this Upper House are not elected; they sit there because of their rank. The chairman of the House of Lords is the Lord Chancellor. And he sits on a special seat, called «Woolsack».

The members of the House of Lords debate the bill after it has been passed by the House of Commons. Some changes may be recommended and the agreement between the two houses is reached by negotiations.

BRITISH TRADITIONS AND CUSTOMS

British nation is considered to be the most conservative in Europe. It is not a secret that every nation and every country has its own customs and traditions. In Great Britain people attach greater importance to traditions and customs than in other European countries. Englishmen are proud of their traditions and carefully keep them up. The best examples are their queen, money system, their weights and measures.

There are many customs and some of them are very old. There is, for example, the Marble Championship, where the British Champion is crowned; he wins a silver cup known among folk dancers as Morris Dancing. Morris Dancing is an event where people, worn in beautiful clothes with ribbons and bells, dance with handkerchiefs or big sticks in their hands, while traditional music-sounds.

Another example is the Boat Race, which takes place on the river Thames, often on Easter Sunday. A boat with a team from Oxford University and one with a team from Cambridge University hold a race.

British people think that the Grand National horse race is the most exciting horse race in the world. It takes place near Liverpool every year. Sometimes it happens the same day as the Boat Race takes place, sometimes a week later. Amateur riders as well as professional jockeys can participate. It is a very famous event.

There are many celebrations in May, especially in the countryside.

Halloween is a day on which many children dress up in unusual costumes. In fact, this holiday has a Celtic origin. The day was originally called All Halloween's Eve, because it happens on October 31, the eve of all Saint's Day. The name was later shortened to Halloween. The Celts celebrated the coming of New Year on that day.

Another tradition is the holiday called Bonfire Night. On November 5, 1605, a man called Guy Fawkes planned to blow up the Houses of Parliament where the king James 1st was to open Parliament on that day. But Guy Fawkes was unable to realize his plan and was caught and later, hanged. The British still remember that Guy Fawkes' Night. It is another name for this holiday. This day one can see children with figures, made of sacks and straw and dressed in old clothes. On November 5th, children put their figures on the bonfire, burn them, and light their fireworks.

In the end of the year, there is the most famous New Year celebration. In London, many people go to Trafalgar Square on New Year's Eve. There is singing and dancing at 12 o'clock on December 31st.

A popular Scottish event is the Edinburgh Festival of music and drama, which takes place every year. A truly Welsh event is the Eisteddfod, a national festival of traditional poetry and music, with a competition for the best new poem in Welsh. If we look at English weights and measures, we can be convinced that the British are very conservative people. They do not use the internationally accepted measurements. They have conserved their old measures. There are nine essential measures. For general use, the smallest weight is one ounce, then 16 ounce is equal to a pound. Fourteen pounds is one stone.

The English always give people's weight in pounds and stones. Liquids they measure in pints, quarts and gallons. There are two pints in a quart and four quarts or eight pints are in one gallon. For length, they have inches: foot, yards and miles.

LONDON

As well as being the capital of England, London is the capital of the United Kingdom. London was founded by the Romans in 43 A.D. and was called Londinium. In 61 A.D. the town was burnt down and when it was rebuilt by the Romans it was surrounded by a wall. That area within the wall is now called the City of London. It is London's commercial and business centre. It contains the Bank of England, the Stock Exchange and the head offices of numerous companies and corporations. Here is situated the Tower of London.

The Tower was built by William the Conqueror who conquered England in 1066. He was crowned at Westminster Abbey. Now most of the Government buildings are located there.

During the Tudor period (16th century) London became an important economic and financial centre. The Londoners of the Elizabethan period built the first theatres. Nowadays the theatre land is stretched around Piccadilly Circus. Not far from it one can see the British Museum and the «Covent Garden» Opera House.

During the Victorian period (19th century) London was one of the most important centers of the Industrial Revolution and the centre of the British Empire. Today London is a great political centre, a great commercial centre, a paradise for theatre-goers and tourists, but it is also a very quiet place with its parks and its ancient buildings, museums and libraries.

LONDON

London is the capital of Great Britain, its political, economic and commercial center. It`s one of the largest cities in the world and the largest city in Europe. Its population is about 9 million. London is one of the oldest and most interesting cities in the world. Traditionally it`s divided into several parts: the City, Westminster, the West End and the East End.

They are very different from each other and seem to belong to different towns and epochs. The heart of London is the City, its financial and business center. Numerous banks, offices and firms are situated there, including the Bank of England, the Stock Exchange and the Old Bailey. Few people live here, but over a million people come to the City to work. There are some famous ancient buildings within the City. Perhaps the most striking of them in St. Paul`s Cathedral, the greatest of British churches. St. Paul`s Cathedral has always dominated the center of London. It stands on the site of former Saxon and Norman churches. They latter were destroyed in the Great Fire and the present building, completed in 1710, is the work of the eminent architect Sir Christopher Wren. It is an architectural masterpiece.

Londoners have a particular affection for St. Paul`s, which is the largest Protestant Church in England. Its high dome, containing the remarkable Whispering Gallery, is a prominent landmark towering above the multistoried buildings which line the river-bank.

The Tower of London was one of the first and most impressive castles built after the Norman invasion of England in 1066. Since the times of William I various kings have built and extended the Tower of London and used it for many purposes. The Tower has been used as a royal palace, an observatory, an arsenal, a state prison, and many famous and infamous people have been executed within its walls. It is now a museum. For many visitors the principal attraction is the Crown Jewels, the finest precious stones of the nation. A fine collection of armour is exhibited in the keep. The security of the Tower is ensured by a military garnison and by the Yeoman Warders or Beefeaters, who still wear their picturesque Tudor uniform.

Westminster is the historic, the governmental part of London. Westminster Abbey is a national shrine where the kings and queens are crowned and famous people are buried. Founded by Edward the Confessor in 1050, the Abbey was a monastery for along time. The present building dates largely from the times of Henry 3, who began to rebuild the church, a task which lasted nearly 300 years. The West towers were added in the eighteenth century. Since William I almost every English monarch has been

crowned in this great church, which contains the tombs and memorials of many of Britain`s most eminent citizens: Newton, Darwin, Chaucer, Dickens, Tennyson, Kipling and etc. One of the greatest treasures of the Abbey is the oaken Coronation Chair made in 1300. The Abbey is also known for its Poet`s Corner. Graves and memorials to many English poets and writers are clustered round about.

Across the road from Westminster Abbey is Westminster Palace, or the Houses of Parliament, the seat of the British Parliament. The Parliament of Great Britain and Northern Ireland consists of the House of Lords and the House of Commons. The House of Lords consists of just over 1,000 members of the different grades of nobility — dukes, marquises, earls, viscounts and barons.

The House of Commons consists of 650 members. They are elected by secret ballot by men and women aged 18 and over. Every Parliament is divided into Sessions. Each of these may last a year and usually begins early in November. The Clock Tower, which contains the hour-bell called Big Ben, is known over the world. The bell is named after Sir Benjamin Hall.

Buckingham Palace is the official residence of the Queen. The West End is the richest and most beautiful part of London. It is the symbol of wealth and luxury. The best hotels, shops, restaurants, clubs, and theatres are situated there. There are splendid houses and lovely gardens belonging to wealthy people.

Trafalgar Square is the geographical center of London. It was named in memory of Admiral Nelson`s victory in the battle of Trafalgar in 1805. The tall Nelson`s Column stands in the middle of the square. On the north side of Trafalgar Square is the National Gallery and the National Portrait Gallery.

Not far away is the British Museum — the biggest museum in London. It contains a priceless collection of ancient manuscripts, coins, sculptures, est., and is famous for its library.

The East End is the poorest district of London. There are a lot of factories, workshops and docks here. The streets are narrow, the buildings are unimpressive. The East End is densely populated by working class families.

PLACES OF INTERESTS IN GREAT BRITAIN

Britain is rich in its historic places which link the present with the past. The oldest part of London is Lud Hill, where the city is originated. About a mile west of it there is Westminster Palace, where the king lived and the Parliament met, and there is also Westminster Abby, the coronation church. Liverpool, the «city of ships», is England’s second greatest port, ranking after London. The most interesting sight in the Liverpool is the docks. They occupy a river frontage of seven miles.

The University of Liverpool, established in 1903, is noted for its School of Tropical Medicine. And in the music world Liverpool is a well-known name, for it’s the home town of «The Beatles».

Stratford-on-Avon lies 93 miles north-west of London. Shakespeare was born here in 1564, and here he died in 1616.

Cambridge and Oxford Universities are famous centers of learning. Stonehenge is a prehistoric monument, presumably built by Druids, members of an order of priests in ancient Britain. Tintagel Castle is King Arthur’s reputed birthplace. Canterbury Cathedral is the seat of the Archbishop of Canterbury, head of the Church of England.

The British Museum is the largest and richest museum in the world. It was founded in 1753 and contains one of the world’s richest collections of antiquities. The Egyptian Galleries contain human and animal mummies. Some parts of Athens’ Parthenon are in the Greek section.

Madam Tussaud’s Museum is an exhibition of hundreds of life-size wax models of famous people of yesterday and today. The collection was started by Madam Tussaud, a French modeller in wax, in the 18th century. Here you can meet Marilyn Monroe, Elton John, Picasso, the Royal Family, the Beatles and many others: writers, movie stars, singers, politicians, sportsmen, etc.

5. Подготовка к экзамену

Подготовка к экзамену включает в себя повторение всех изученных тем курса.

Билет на экзамен включает в себя тест и практико-ориентированное задание.

Наименование оценочного средства	*Характеристика оценочного средства*	*Методика применения оценочного средства*	*Наполнение оценочного средства в КОС*	*Составляющая компетенции, подлежащая оцениванию*
Экзамен:				
Тест	Система стандартизированных заданий, позволяющая автоматизировать процедуру измерения уровня знаний и умений обучающегося.	Тест состоит из 20 вопросов.	КОС - тестовые задания	Оценивание уровня знаний, умений, владений
Практико-ориентированное задание	Задание, в котором обучающемуся предлагают осмыслить реальную профессионально-ориентированную ситуацию	Количество заданий в билете – 1. Предлагаются задания по изученным темам в виде практических ситуаций.	КОС- Комплект заданий	Оценивание уровня знаний, умений и навыков

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методическому комплексу _____ С.А. Упоров

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

по дисциплине

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Направление

15.03.06 Мехатроника и робототехника

Профиль

Мехатроника и робототехника промышленных производств

Авторы: Кузнецов А.М., Тетерев Н.А.

Одобрена на заседании кафедры

Безопасности горного производства

(название кафедры)

Зав. кафедрой _____

(подпись)

Елохин В.А.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 1 от 20.09.2023

(Дата)

Рассмотрена методической комиссией факультета

Горно-механического факультета

(название факультета)

Председатель _____

(подпись)

Осипов П.А.

(Фамилия И.О.)

Протокол № 2 от 20.10.2023

(Дата)

Екатеринбург

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. РАСЧЕТ ПОТРЕБНОГО ВОЗДУХООБМЕНА

Цель практического занятия — закрепление теоретических знаний, полученных при изучении темы «Человек и среда обитания: воздействия негативных факторов окружающей среды на человека», и формирование практических навыков расчета воздухообмена в производственных помещениях необходимого для очистки воздуха от вредностей: для удаления вредных веществ (выделяющихся вредных газов, паров и пыли); для удаления излишних водяных паров; для удаления избыточного тепла.

Общие сведения. Среда обитания — это окружающая человека среда, осуществляющая через совокупность факторов (физических, биологических, химических и социальных) прямое или косвенное воздействие на жизнедеятельность человека, его здоровье, трудоспособность и потомство. В жизненном цикле человек и окружающая среда обитания непрерывно взаимодействуют и образуют постоянно действующую систему «человек — среда обитания», в которой человек реализует свои физиологические и социальные потребности. В составе окружающей среды выделяют природную, техногенную, производственную и бытовую среду. Каждая среда может представлять опасность для человека. В данной работе рассматривается расчет потребного воздухообмена (L м^3/ч), для очистки воздуха от вредных газов и паров и для удаления избыточного тепла с помощью механической общеобменной вентиляции.

Задание. В помещении объемом V работают n человек со средней производительностью a каждый. Они производят покраску и шпаклевку изделий нитро- (на основе ацетона) красками, эмалями и шпаклевками, для чего используется ручное и механизированное оборудование. В этом же помещении

производится пайка *N* контактов припоем ПОС-60. Источники тепловыделения – оборудование мощностью Рном и осветительная сеть мощностью Роев из люминесцентных ламп. Расчеты вести для холодного периода года. Помещение имеет *К* окон направленных на север размерами 2,5х1,75 м с двойным остеклением и деревянными рамами. Категория работ – III (тяжелая).

Рассчитать потребный воздухообмен и определить кратность воздухообмена для: 1) испарений растворителей и лаков; 2) при пайке припоем ПОС-60; 3) удаления выделяемой людьми углекислоты; 4) удаления избыточного тепла.

Методика и порядок расчета воздухообмена для очистки воздуха.

Потребный воздухообмен определяется по формуле

$$L = \frac{G \times 1000}{x_н - x_в}, \text{ м}^3/\text{ч}, \qquad (1.1)$$

где *L*, м^3/ч – потребный воздухообмен; *G*, г/ч – количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения; $x_в$, мг/м^3 – предельно допустимая концентрация вредности в воздухе рабочей зоны помещения, согласно ГОСТ 12.1.005-88 [1]; $x_н$, мг/м^3 – максимально возможная концентрация той же вредности в воздухе населенных мест (ГН 2.1.6.1338- 03) □4□.

Применяется также понятие кратности воздухообмена (n), которая показывает сколько раз в течение одного часа воздух полностью сменяется в помещении. Значение n □ □ может быть достигнуто естественным воздухообменом без устройства механической вентиляции.

Кратность воздухообмена определяется по формуле

$$n = \frac{L}{V_n}, \text{ ч}^{-1}, \qquad (1.2)$$

где n, раз/ч – кратность воздухообмена; *L*, м^3/ч – потребный воздухообмен; V_n – внутренний объем помещения, м^3.

Согласно СП 2.2.1.1312-03, кратность воздухообмена n > 10 недопустима.

Так как $x_н$ определяется по табл. 1.1 прил.1, а $x_в$ по табл. 1.2 прил.1, то для

расчета потребного воздухообмена необходимо в каждом случае определять количество вредных веществ, выделяющихся в воздух помещения.

Таблица 1.0

Исходные данные для расчёта потребного воздухообмена

№ вар.	*a*, м^2/ч	Материал	*n* чел.	*V* м^3	*N* шт/час	Местность	$P_{ном.}$ кВт	$P_{осв.}$ кВт	*m* окон
1	2	Бесцветный аэролак, окраска кистью	1	100	40	Сельские населенные пункты	10	0,5	2
2	1,5		2	200	35		20	0,5	3
3	1		3	300	400		30	1	4
4	2		4	400	45	Малые города	40	1	5
5	3	Цветной аэролак, окраска механизир.	1	500	305		200	1	6
6	4		1	600	48		150	1,5	6
7	3,5		1	700	450	Большие города	200	1	6
8	5		1	800	480		100	2	8
9	0,2	Шпаклевка кистью	3	80	325		10	0,5	2
10	0,3		4	200	420	Сельские населенные пункты	20	1	4
11	1,5	Шпаклевка механизир,	1	200	250		30	1	3
12	1		2	300	450		40	1,5	4
13	0,8	Бесцветный аэролак, окраска кистью	1	150	300	Малые города	50	0,6	2
14	1		2	150	48		60	0,8	3
15	1,2		1	120	335		70	1	2
16	0,7		2	200	400	Большие города	80	1,2	4
17	2	Цветной аэролак, окраска механизир.	1	200	280		90	0,6	4
18	2,5		2	400	480		100	0,8	6
19	2,2		1	400	290	Сельские населенные пункты	150	1,2	8
20	1,8		2	600	300		200	1,5	8
21	0,3	Шпаклевка кистью	1	80	200		250	0,5	I
22	0,4		2	100	250	Малые города	300	0,6	2
23	1	Шпаклевка механизир.	1	150	242		60	1	2
24	1		2	400	440	Большие	80	1	3

25	1,5	Шпаклевка	1	100	270	города	100	1,2	4
26	2	кистью	3	200	180		150	0,5	6

Рассмотрим отдельные характерные случаи выделения вредных веществ в воздух помещения и определения потребного воздухообмена.

1.1. Определение воздухообмена при испарении растворителей и лаков

Испарение растворителей и лаков обычно происходит при покраске различных изделий. Количество летучих растворителей, выделяющихся в воздухе помещений можно определить по следующей формуле

$$G = \frac{a \times A \times m \times n}{100}, \text{ г/ч}, \qquad (1.3)$$

где a, м^2/ч – средняя производительность по покраске одного рабочего (при ручной покраске кистью – 12 м^2/ч, пульверизатором – 50 м^2/ч); A, г/м^2 – расход лакокрасочных материалов; m, % – процент летучих растворителей, содержащихся в лакокрасочных материалах; n – число рабочих, одновременно занятых на покраске.

Численные значения величин A и m определяются по табл. 1.3 прил. 1.

Пример. Определить количество выделяющихся в воздух помещения летучих растворителей.

Решение:

По табл. 3 прил. 1 для цветного аэролака при окраске распылением находим, что A = 180 г/м^2, m = 75 %, тогда G = 50·180·75·2/100 = 13500 г/ч. Далее определяем потребный воздухообмен в помещении по формуле (1.3). Находим для ацетона из табл. 1.1 и 1.2 прил. 1, что $x_в$ = 200 мг/м^3, $x_н$ = 0,35 мг/м^3, тогда L = 13500·1000/(200 - 0,35) = 67500 м^3/ч.

Ответ: L = 67500 м^3/ч.

1.2. Определение потребного воздухообмена при пайке электронных схем

Пайка осуществляется свинцово-оловянным припоем ПОС-60, который содержит C = 0,4 доли объема свинца и 60 % олова. Наиболее ядовиты аэрозоли (пары) свинца.

В процессе пайки из припоя испаряется до B = 0,1 % свинца, а на 1 пайку расходуется 10 мг припоя. При числе паек – N, количество выделяемых паров свинца определяется по формуле

$$G = C \times B \times N, \text{ мг/ч}, \qquad (1.4)$$

где G, г/ч – количество выделяемых паров свинца; C – содержание свинца; B – % свинца; N – число паек.

Пример. В помещении объемом $V_п$ = 1050 м^3 три человека осуществляют пайку припоем ПОС-40 с производительностью по 100 контактов в час. Найти требуемую кратность воздухообмена.

Решение:

По формуле (1.4) определяем количество аэрозолей свинца, выделяемых в воздух: G = 0,6·0,001·10·100·3 = 1,8 мг/ч. Далее определяем потребный воздухообмен по формуле (1.1). Находим из табл. 1.1 и 1.2 прил. 1 для свинца и его соединений $x_в$ = 0,01 мг/м^3; $x_н$ = 0,001 мг/м^3. Тогда L = 1,8 / (0,01- 0,001) = 200,0 м^3/ч.

Ответ: L = 185,5 м^3/ч.

1.3. Определение воздухообмена в жилых и общественных помещениях

В жилых и общественных помещениях постоянным вредным выделением является выдыхаемая людьми углекислота (CO_2). Определение потребного воздухообмена производится по количеству углекислоты, выделяемой человеком и по допустимой концентрации её.

Количество углекислоты в зависимости от возраста человека и выполняемой работы, а также допустимые концентрации углекислоты для различных помещений приведены в табл. 1.4 и 1.5 прил. 1.

Содержание углекислоты в атмосферном воздухе можно определить по химическому составу воздуха. Однако, учитывая повышенное содержание углекислоты в атмосфере населенных пунктов, следует принимать при расчете содержания CO_2 следующие значения: для сельских населенных пунктов – 0,33 л/м^3, для малых городов (до 300 тыс. жителей) – 0,4 л/м^3, для больших городов (свыше 300 тыс. жителей) – 0,5 л/м^3.

Пример. Определить потребную кратность воздухообмена в помещении, где работают 3 человека.

Решение:

По табл. 1.4 прил.1 определяем количество CO_2, выделяемой одним человеком g = 23 л/ч. По табл. 1.5 прил. 1 определяем допустимую концентрацию CO_2. Тогда $x_в$ = 1 л/м3 и содержание CO_2 в наружном воздухе для больших городов $x_н$ = 0,5 л/м^3 .Определяем потребный воздухообмен по формуле (1.1) $L = 23 \cdot 3/(1- 0,5) = 138$ м$^{3/}$ч. Ответ: L = 138 м^3/ч.

1.4. Определение потребного воздухообмена при выделении газов (паров) через неплотности аппаратуры, находящейся под давлением

Производственная аппаратура, работающая под давлением, как правило, не является вполне герметичной. Степень герметичности аппаратуры уменьшается по мере ее износа. Считая, что просачивание газов через неплотности подчиняется тем же законам, что и истечение через небольшие отверстия, и, предполагая, что истечение происходит адиабатически, количество газов, просочившихся через неплотности, можно определить по формуле

$$G = k \times c \times \sqrt[v]{\frac{M}{T}}, \text{ кг/ч}, \qquad (1.5)$$

где k – коэффициент, учитывающий повышение утечки от износа оборудования (k = 1–2); c – коэффициент, учитывающий влияние давление газа в аппарате; v – внутренний объем аппаратуры и трубопроводов, находящихся под давлением, м^3; M – молекулярный вес газов, находящихся в аппаратуре; T – абсолютная температура газов в аппаратуре, К.

Таблица 1.2

Коэффициент, учитывающий влияние давление газа в аппарате

Давление p, атм	до 2	2	7	17	41	161
c	0,121	0,166	0,182	0,189	0,25	0,29

Пример. Система, состоящая из аппаратов и трубопроводов, заполнена сероводородом. Рабочее давление в аппаратуре p_a = 3 атм, а в проводящих трубопроводах p_a=4 атм. Внутренний объем аппаратуры v_a = 5 м^3, объём трубопроводов, $v_{тр}$ = 1,2 м^3. Температура газа в аппаратуре – t_a = 120 °С, в трубопроводе – $t_{тр}$ = 25 °С. Определить потребный воздухообмен в помещении.

Решение:

Определяем величины утечек сероводорода (H_2S) из аппаратуры и трубопроводов. Принимаем k = 1,5; c = 0,169 (по табл. 1.2); M = 34, для H_2S; Утечка газа из аппаратуры составляет:

$$G_a = 1{,}5 \times 0{,}169 \times \sqrt[5]{\frac{34}{393}} = 0{,}372$$

Утечка газа из трубопроводов составляет:

$$G_{тр} = 1{,}5 \times 0{,}172 \times 1{,}2 = 0{,}104$$

$$G = G_a + G_{тр} = 0{,}372 + 0{,}104 = 0{,}476, \text{кг/ч}$$

Используя данные табл. 1.1 прил. 1, находим, что для сероводорода

$x_в$ =10 мг/м^3; $x_н$ = 0,008 мг/м^3. Потребный воздухообмен равен

$$L = \frac{4761000}{(10 - 0{,}008)} = 47638{,}1\ {}^{м^3}/_{ч}$$

Ответ: L = 47638,1 м^3/ч

Вывод: В воздух помещения одновременно могут выделяться несколько вредных веществ. По действию на организм человека они могут быть однонаправленными и разнонаправленными. Для однонаправленных веществ расчетные значения потребного воздухообмена суммируются, а для разнонаправленных веществ выбирается наибольшее значение потребного воздухообмена.

Пример. Для первой вредности в воздухе рабочей зоны – вредных (токсичны) веществ в рассмотренных примерах все относятся к веществам разнонаправленного действия, поэтому принимаем к дальнейшему расчету максимальное из полученных значений, т. е. L = 67500 м^3/ч (потребный воздухообмен для паров растворителей при окраске).

Для проверки соответствия требованиям устройства вентиляции определим кратность воздухообмена n = 67500/4800 = 14,1 ч$^{-1}$. Данное значение превышает установленную величину – 10 ч$^{-1}$, поэтому необходимо принять дополнительное решение по устройству вентиляции в помещении. Например, таким решением может быть исключение распространения от двух мест окраски растворителей по всему помещению за счет применения местной вытяжной вентиляции.

Расчет объёма воздуха удаляемого местной вентиляцией определяется по формуле

$$L_{МВ} = F \times v \times 3600,\ {}^{м^3}/_{ч}\ , \qquad (1.6)$$

где F – площадь сечения всасывающих отверстий, м^2; v – скорость воздуха

в сечении вытяжной вентиляции, м/с. Рекомендуется принимать значение скорости в интервале 0,8-1,5 м/с.

Таким образом, потребный воздухообмен для оставшихся вредных веществ принимаем для выделений сероводорода: L = 47638,1 м^3/ч.

Проверка:

$$n = 47638,\ 1/4800 = 9,\ 9\ ч^{-1}.$$

1.5. Расчёт потребного воздухообмена для удаления избыточного тепла

Расчет потребного воздухообмена для удаления избыточного тепла производится по формуле

$$L = \frac{Q_{изб}}{\gamma_B \times c\Delta t},\ м^3/ч, \qquad (1.7)$$

где L, м^3/ч – потребный воздухообмен; $Q_{изб}$, ккал/ч – избыточное тепло; $\gamma_в$ = 1,206 кг/м^3 – удельная масса приточного воздуха; $c_в$ = 0,24 ккал/кг□град – теплоемкость воздуха;

$$\Delta t = t_{вых} - t_{пр},\ ^oC \qquad (1.8)$$

где $t_{вых}$, ^{o}C – температура удаляемого воздуха; $t_{пр}$, ^{o}C – температура приточного воздуха.

Величина Δt при расчетах выбирается в зависимости от теплонапряженности воздуха – $Q_н$: при $Q_н \leq 20$ ккал/м^3·ч Δt = 6 ^{o}C; при $Q_н > 20$ ккал/м^3·ч Δt = 8 ^{o}C;

$$Q_н = \frac{Q_{изб}}{V_п},\ ккал/\ м^3 \cdot ч, \qquad (1.9)$$

где $V_п$, м^3 – внутренний объем помещения.

Таким образом, для определения потребного воздухообмена необходимо определить количество избыточного тепла по формуле

$$Q_{изб} = Q_{об} + Q_{осв} + Q_л + Q_р - Q_{отд},\ ккал/ч, \qquad (1.10)$$

где $Q_{об}$, ккал/ч – тепло, выделяемое оборудованием; $Q_{осв}$, ккал/ч – тепло, выделяемое системой освещения; $Q_{л}$, ккал/ч – тепло, выделяемое людьми в помещении; $Q_{р}$, ккал/ч – тепло, вносимое за счет солнечной радиации; $Q_{отд}$, ккал/ч – теплоотдача естественным путем.

Определяем количество тепла, выделяемого оборудованием

$$Q_{об} = 860 \times P_{об} \times y_1, \text{ ккал/ч} \quad (1.11)$$

где Y_1 – коэффициент перехода тепла в помещение, зависящий от вида оборудования; $P_{об}$, кВт – мощность, потребляемая оборудованием;

$$P_{об} = P_{ном} \times y_2 \times y_3 \times y_4, \text{ кВт,} \quad (1.12)$$

где $P_{ном}$, кВт – номинальная (установленная) мощность электрооборудования помещения; Y_2 – коэффициент использования установленной мощности, учитывающий превышение номинальной мощности над фактически необходимой; Y_3 – коэффициент загрузки, т.е. отношение величины среднего потребления мощности (во времени) к максимально необходимой; Y_4 – коэффициент одновременности работы оборудования.

При ориентировочных расчетах произведение всех четырех коэффициентов можно принимать равным:

$$y_1 \times y_2 \times y_3 \times y_4 = 0{,}25 \quad (1.13)$$

Определяем количество тепла, выделяемого системой освещения

$$Q_{осв} = 860 \times P_{осв} \times \alpha\beta \times \cos(\varphi), \quad (1.14)$$

где α – коэф. перевода электрической энергии в тепловую для лампы накаливания α = 0,92 – 0,97, люминесцентной лампы α = 0,46 – 0,48; b – коэффициент одновременности работы (при работе всех светильников b = 1); cos (φ) = 0,7 – 0,8 – коэффициент мощности; $P_{осв}$, кВт – мощность осветительной установки.

Определяем количество тепла, выделяемого находящимися в помещении людьми

$$Q_{л} = N \times q_{л}, \quad (1.15)$$

где N – количество людей в помещении; $q_{л}$, ккал/ч – тепловыделения одного человека табл. 1.6 прил. 1.

Определяем количество тепла, вносимого за счет солнечной радиации

$$Q_p = K \times S \times q_{ост}\,, \qquad (1.16)$$

где K – количество окон; S, м^2 – площадь одного окна; $q_{ост}$, ккал/ч – солнечная радиация через остекленную поверхность табл. 1.7 прил. 1.

Определяем теплоотдачу, происходящую естественным путем. Если нет дополнительных условий, то можно считать ориентировочно, что $Q_{отд}$ = $Q_р$ для холодного и переходного периодов года (среднесуточная температура наружного воздуха ниже +10 ^{o}C). Для теплого периода года (среднесуточная температура воздуха выше +10 ^{o}C) принимаем $Q_{отд}$ = 0.

Общий вывод: Среди полученных расчетных значений потребного воздухообмена для вредных веществ и удаления избыточного тепла выбирается наибольшее значение потребного воздухообмена.

Приложение 1

Таблица 1.1

Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест (ГН 2.1.6.1338-03)

Наименование вредных веществ	ПДКм.р., мг/м^3	ПДКс.с., мг/м^3	Агрегатн состояние
Азота диоксид	0,085	0,04	п
Азота оксид	0,6	0,06	п
Акролеин	0,03	0,03	п
Амилацетат	0,10	0,10	п
Аммиак	0,2	0,04	п
Ацетон	0,35	0,35	п
Бензин (углеводороды)	5,0	1,5	п
Бензол	1,5	0,1	п
Бутан	200	-	п
Бутилацетат	0,1	0,1	п
Винилацетат	0,15	0,15	п
Дихлорэтан	3,0	1,0	п
Ксилол	0,2	0,2	п
Марганец и его соединения	0,01	0,001	а
Метилацетат	0,07	0,07	п
Мышьяк и его неорг. соединения	-	0,003	а
Озон	0,16	0,03	п
Пыль (кремнесодержащая – более 70 %)	0,15	0,05	а
Пыль нетоксичная (фиброгенного действия)	0,5	0,15	а
Ртути хлорид (сулема)	-	0,0003	а
Сажа	0,15	0,05	а
Свинец и его соединения	0,001	0,0003	а
Сернистый ангидрид	0,5	0,15	п
Серная кислота	0,3	0,1	а

Продолжение табл. 1.1

Наименование вредных веществ	ПДКм.р., мг/м^3	ПДКс.с., мг/м^3	Агрегатн состояние
Сероводород	0,008	-	п
Сероуглерод	0,03	0,005	п
Спирт бутиловый	0,16	-	п
Спирт изобутиловый	0,1	0,1	п
Спирт метиловый	1,0	0,5	п
Спирт этиловый	5	5	п
Стирол	0,04	0,002	п
Толуол	0,6	0,6	п
Углерода оксид	5,0	3,0	п
Фенол	0,01	0,003	п
Фтористые соединения (газообразные)	0,02	0,005	п
Хлор	0,1	0,03	п
Хлористый водород	0,2	0,2	п
Этилацетат	0,1	0,1	п

Примечание: п – пары и/или газы; а – аэрозоль

Таблица 1.2

Предельно-допустимые концентрации вредных веществ в воздухерабочей зоны (ГОСТ 12.1.005-88)

Наименование вредных веществ	ПДК., мг/м^3	Класс опасности	Агрегатн. состояние
Азота диоксид	2,0	3	п
Азота оксиды	5,0	3	п
Акролеин	0,2	2	п
Амилацетат	100	4	п
Аммиак	20	4	п
Ацетон	200	4	п
Бензин (углеводороды)	100	4	п
Бензол	15/5	2	п
Бутан	300	4	п
Бутилацетат	200	4	п
Винилацетат	10,0	4	п
Дихлорэтан	10,0	2	п
Ксилол	50,0	3	п
Марганец и его соединения (от 2-30 %)	0,1	2	а
Метилацетат	100	4	п
Мышьяк и его неорг. соединения	0,04/0,01	2	а
Озон	0,1	1	п
Пыль (кремнесодержащая – более 70 %)	1,5	4	а
Пыль нетоксичная (фиброгенного действия)	4,0	4	а
Ртути хлорид (сулема)	0,2/0,05	1	а
Сажа	4,0	3	а
Свинец и его соединения	0,01/0,005	1	а
Серная кислота	1,0	2	а
Сернистый ангидрид	10	3	п
Сероводород	10,0	3	п

Продолжение табл. 1.2

Наименование вредных веществ	ПДК., мг/м^3	Класс опасности	Агрегатн. состояние
Сероуглерод	1,0	3	п
Спирт бутиловый	10,0	3	п
Спирт изобутиловый	10,0	3	п
Спирт метиловый	5,0	3	п
Спирт этиловый	1000	4	п
Стирол	30/10	3	п
Толуол	50	3	п
Углерода оксид	20	4	п
Фенол	0,3	2	п
Фтористые соединения (газообразные)	0,5/0,1	2	п
Хлор	1,0	2	п
Хлористый водород	5,0	1	п
Этилацетат	200	4	п

Примечание: значение в числителе – максимально разовые; в знаменателе – среднесменные

Таблица 1.3

Расходы лакокрасочных материалов на один слой покрытия изделий и содержание в них летучих растворителей

Наименование лакокрасочных материалов/способ нанесения краски	Расход лакокрасочных материалов, *A*, г/м^2	Содержание летучей час- ти, *m*, %
Нитролаки и краски		
Бесцветный аэролак /кистью	200	92
Цветные аэролаки/распыление пульверизатором	180	75
Нитрошпаклевка /кистью	100-180	10-35
Нитроклей /кистью	160	80-85
Масляные лаки и эмали		
Окраска распылением	60-90	35

Таблица 1.4

Количество углекислоты, выделяемой человеком при разной работе

Возраст человека и характер работы	Количество CO_2	
	в л/ч	в г/ч
Взрослые:		
при физической работе	45	68
при легкой работе (в учреждениях)	23	35
в состоянии покоя	23	35
Дети до 12 лет	12	18

Таблица 1.5

Предельно-допустимые концентрации углекислоты

Наименование помещений	Количество CO_2	
	в л/ч	в г/кг
Для постоянного пребывания людей (жилые ком.)	1	1,5
Для пребывания детей и больных	0,7	1
Для учреждений	1,25	1,75
Для кратковременного пребывания людей	2	3

Таблица 1.6

Количество тепловыделений одним человеком при различной работе

Категория тяжести работы		Количество тепловыделений $q_л$, ккал/ч в зависимости от окружающей температуры воздуха			
		15 ºС	20 ºС	25 ºС	30 ºС
Легкая	I	100	70	50	30
Средней тяжести	II-а	100	70	60	30
Средней тяжести	II-б	110	80	70	35
Тяжелая	III	110	80	80	35

Таблица 1.7

Солнечная радиация через остекленную поверхность

	Солнечная радиация, $q_{ост}$, ккал/ч от стороны света и широты, град.														
	ЮГ			ЮГО-ВОСТОК ЮГО-ЗАПАД				ВОСТОК ЗАПАД				СЕВЕР, СЕВЕР. ВОСТОК СЕВЕРО-ЗАПАД			
	45	55	65	35	45	55	65	35	45	55	65	35	45	55	65
Окна с двойным остеклением и деревянными рамами	125	125	145	85	110	125	145	125	125	145	145	65	65	65	60
Окна с двойным остеклением и металлическими рамами	160	160	180	110	140	160	180	160	160	180	180	80	80	80	70
Фо- нарь с двойным остеклением и металлическими переплет.	130	160	170	110	140	170	170	160	160	180	180	85	85	85	70

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоиздат, 1982. – 342 с.

2. Каменев П.Н. Отопление и вентиляция. Часть II. Вентиляция. – М.: Издательство литературы по строительству, 1966. – 289 с.

3. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

4. ГН2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2. ОЦЕНКА РИСКА

Цель практического занятия - закрепление теоретических знаний, полученных при изучении темы «Основы теории безопасности: системный анализ безопасности», и формирование практических навыков расчета индивидуального и группового (социального) риска в конкретных ситуациях.

Общие сведения. Опасность – одно из центральных понятий безопасности жизнедеятельности (БЖД).

Опасность хранят все системы, имеющие энергию, химически или биологически активные компоненты, а также характеристики (параметры), несоответствующие условиям жизнедеятельности человека. Можно сказать, что опасность – это риск неблагоприятного воздействия.

Практика свидетельствует, что абсолютная безопасность недостижима. Стремление к абсолютной безопасности часто вступает в антагонистические противоречия с законами техносферы.

В сентябре 1990 г. в г. Кельне состоялся первый Всемирный конгресс по безопасности жизнедеятельности человека как научной дисциплине. Девиз конгресса: «Жизнь в безопасности». Участники конгресса постоянно оперировали понятием «риск».

Возможны следующие определения риска:

1. Это количественная оценка опасности, вероятность реализации опасности;

2. При наличии статистических данных, это частота реализации опасностей.

Различают опасности реальные и потенциальные. В качестве аксиомы принимаются, что любая деятельность человека потенциально опасна. Реализация потенциальной опасности происходит через ПРИЧИНЫ и приводит к НЕЖЕЛАТЕЛЬНЫМ ПОСЛЕДСТВИЯМ.

Сейчас перед специалистами ставится задача – не исключение до нуля безопасности (что в принципе невозможно). А достижение заранее заданной величины риска реализации опасности. При этом сопоставлять затраты и получаемую от снижения риска выгоду. Во многих западных странах для более объективной оценки риска и получаемых при этом затрат и выгод, вводят финансовую меру человеческой жизни. Заметим, что такой подход имеет противников, их довод – человеческая жизнь свята, бесценна и какие-то финансовые оценки недопустимы. Тем не менее, по зарубежным исследованиям, человеческая жизнь оценивается, что позволяет более объективно рассчитывать ставки страховых тарифов при страховании и обосновывать суммы выплат.

Поскольку абсолютная безопасность (нулевой риск) невозможна, современный мир пришел к концепции приемлемого (допустимого) риска.

Суть концепции заключается в стремлении к такой безопасности, которую принимает общество в данное время. При этом учитывается уровень технического развития, экономические, социальные, политические и др. возможности. Приемлемый риск – это компромисс между уровнем безопасности и возможностями ее достижения. Это можно рассмотреть в следующей ситуации. После крупной аварии на Чернобыльской АЭС, правительство СССР решило повысить надежность всех ядерных реакторов. Средства были взяты из госбюджета и, следовательно, уменьшилось финансирование социальных программ здравоохранения, образования и культуры, что в свою очередь привело к увеличению социально-экономического риска. Поэтому следует всесторонне оценивать ситуацию и находить компромисс – между затратами и величиной риска.

Переход к «риску» дает дополнительные возможности повышения безопасности техносферы. К техническим, организационным, административным добавляются и экономические методы управления риском (страхование, денежные компенсации ущерба, платежи за риск и

др.). Есть здравый смысл в том, чтобы законодательно ввести квоты за риск. При этом возникает проблема расчета риска: статистический, вероятностный, моделирование, экспертных оценок, социологических опросов и др. Все эти методы дают приблизительную оценку, поэтому целесообразно создавать базы и банки данных по рискам в условиях предприятий, регионов и т.д.

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с общими сведениями. Записать определения.
2. Выполнить практические задачи.

Практические задачи

Задача 1. В таблице 2.0 приведен ряд профессий по степени индивидуального риска фатального исхода в год. Используя данные табл.1 методом экспертных оценок охарактеризуйте вашу настоящую деятельность и условия вашей будущей работы.

Таблица 2.0

Классификация профессиональной безопасности

Категория	Условия профессиональной деятельности	Риск смерти (на человека в год)	Профессия
1	Безопасные	$1 \cdot 10^{-4}$	Текстильщики, обувщики, работники лесной промышленности, бумажного производства и др.
2	Относительно безопасные	$1 \cdot 10^{-4}$ до $1 \cdot 10^{-3}$	Шахтеры, металлурги, судостроители и др.
3	Опасные	$1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^{-2}$	Рыбопромысловики, верхолазы, трактористы и др.
4	Особо опасные	больше $1 \cdot 10^{-2}$	Летчики-испытатели, летчики реактивных самолетов.

После обсуждения письменно сформулируйте свою оценку.

Для решения следующих задач используйте формулу определения индивидуального риска

$$P = \frac{h}{H}, \qquad (2.1)$$

где Р – индивидуальный риск (травмы, гибели, болезни и пр.); h – количество реализации опасности с нежелательными последствиями за определенный период времени (день, год и т.д.); Н – общее число участников (людей, приборов и пр.), на которых распространяется опасность.

Пример решения задачи по формуле (2.1).

Пример. Задача 1. Ежегодно неестественной смертью гибнет 250 тыс. человек. Определить индивидуальный риск гибели жителя страны при населении в 150 млн. человек.

Решение.

Рж = $2{,}5 \cdot 10^5 / 1{,}5 \cdot 10^8 = 1{,}7 \cdot 10^{-3}$

Или будет 0,0017. Иначе можно сказать, что ежегодно примерно 17 человек 10000 погибает неестественной смертью. Если пофантазировать и предположить, что срок биологической жизни человека равен 1000 лет, то по нашим данным оказывается, что уже через 588 лет (1:0,0017) вероятность гибели человека неестественной смертью близка к 1 (или 100%).

Примечание. Здесь и в задачах №2,3 данные приближены к России.

Задача 2. Опасность гибели человека на производстве реализуется в год 7 тыс. раз. Определить индивидуальный риск погибших на производстве при условии, что всего работающих 60 млн. человек. Сравните полученный результат с вашей экспертной оценкой из задачи 1.

Задача 3. Определить риск погибших в дорожно-транспортном происшествии (ДТП), если известно, что ежегодно гибнет в ДТП 40 тыс. человек при населении 150 млн. человек.

Задача 4. Используя данные индивидуального риска фатального

исхода в год для населения США (данных по России нет), определите свой индивидуальный риск фатального исхода на конкретный год. При этом можно субъективно менять коэффициенты и набор опасностей.

Таблица 2.1

Индивидуальный иск гибели в год

Причина	Риск	Причина	Риск
Автомобильный транспорт	$3 \cdot 10^{-4}$	Воздушный транспорт	$9 \cdot 10^{-6}$
Падения	$9 \cdot 10^{-5}$	Падающие предметы	$6 \cdot 10^{-6}$
Пожар и ожог	$4 \cdot 10^{-5}$	Электрический ток	$6 \cdot 10^{-6}$
Утопление	$3 \cdot 10^{-5}$	Железная дорога	$4 \cdot 10^{-6}$
Отравление	$2 \cdot 10^{-5}$	Молния	$5 \cdot 10^{-7}$
Огнестрельное оружие	$1 \cdot 10^{-5}$	Все прочие	$4 \cdot 10^{-5}$
Станочное оборудование	$1 \cdot 10^{-5}$	Ядерная энергетика	$2 \cdot 10^{-10}$
Водный транспорт	$9 \cdot 10^{-6}$	(пренебрегаемо мал. риск)	

Риск общий для американца: $P_{общ} = 6 \cdot 10^{-4}$

Сравнить полученный результат с результатом примера решения.

Задачи на риск гибели неестественной смертью в России и с риском гибели в год для американца ($P_{общ}$).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Русак О.Н. Труд без опасности. Л. «Лениздат», 1986, 191 с.

2. Береговой Г.Т. и др. Безопасность космических полетов. М., «Машиностроение», 1977, 320 с.

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Цель практического занятия :закрепление теоретических знаний, полученных при изучении раздела “Гелиофизические и метеорологические фактора: микроклимат производственных помещений”, и формирование практических навыков расчета метеорологических условий в производственном помещении и гигиенической оценки параметров микроклимата.

Общие сведения:

Одним из основных условий эффективной производственной деятельности человека является обеспечение нормальных метеорологических условий в помещениях. Параметры микроклимата оказывают существенное влияние на терморегуляцию организма человека и могут привести кпереохлаждение или перегреву тела

Микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды этих помещений, определяемый действующими на организм человека факторами: сочетанием температуры воздуха, относительной влажности, скорости движения воздуха, интенсивности теплового облучения, температуры поверхности ограждающих конструкций (стены, пол, потолок, технологическое оборудование и т.д

Под рабочей зоной понимается пространство высотой до 2м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или временного пребывания рабочих.

Причиной ряда заболеваний является местное и общее охлаждение. Переохлаждение организма ведет к простудным заболеваниям: ангине, катару верхних дыхательных путей, пневмонии. Установлено, что при

переохлаждении ног и туловища возникает спазм сосудов слизистых оболочек дыхательного тракта.

Перегревание возникает при избыточном накоплении тепла в организме, которое возникает при действии повышенных температур. Основными признаками перегревания являются повышение температуры тела до 38°Си более, обильное потоотделение, слабость, головная боль, учащение дыхания и пульса, изменение артериального давления и состав крови, шум в ушах, искажение цветового восприятия

Тепловой удар – это быстрое повышение температуры тела 40°С и выше. В этом случае падает артериальное давление, потоотделение прекращается, человек теряет сознание.

Организм человека обладает свойством терморегуляции – поддержание температуры тела в определенных границах (36,1…37,2°С) Терморегуляция обеспечивает равновесие между количеством тепла, непрерывно образующегося в организме человека в процессе обмена веществ, теплопродукцией и излишком тепла, непрерывно выделяемого в окружающую среду, - теплоотдачей, т.е сохраняет тепловой баланс организма человека. Количество выделившейся теплоты меняется от 8Вт до 50 Вт.

Теплопродукция. Тепло вырабатывается всем организмом, но в наибольшей степени в мышцах и печени. В процессе работы в организме происходят различные биохимические процессы, связанные с деятельностью мышечного аппарата и нервной системы. Энергозатраты человека, выполняющего различную работу, могут быть классифицированы на категории.

Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энергозатрат организма: легкие физические работы, средние физические работы, тяжелые физические работы.

К категории 1а относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 139 Вт, выполняемые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

К категории 1б относятся работы с интенсивностью энергозатрат 140…174 Вт, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (в полиграфической промышленности, на часовом, швейном производствах, в сфере управления)

К категории 2а относятся работы с интенсивностью энергозатрат 233…232 Вт, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой, перемещением мелких изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения.

К категории 2б относятся работы с интенсивностью энергозатрат 233…290 Вт, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением.

К категории 3 относятся работы с интенсивностью энергозатрат более 290 Вт, связанные с постоянными передвижениями, перемещением и переноской значительных (свыше 10 кг) тяжестей и требующие больших физических усилий.

Теплоотдача. Количество тепла, отдаваемого организмом человека, зависит от температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха. Теплоотдача осуществляется путем радиации, конвекции, испарения пота и дыхания. Для человека, находящегося в состояние покоя и одетого в обычную комнатную одежду, соотношение составляющих теплоотдачи имеет следующие распределения, % радиацией – 45, конвекцией – 30, испарением и дыханием – 25.

Основное значение имеет регулирование теплоотдачи, так как она является наиболее изменчивой и управляемой. Комфортные тепло ощущения у человека возникают при наличии теплового баланса организма, а также при условии его некоторого нарушения. Это обеспечивается тем, что в организме человека имеется некоторый резерв тепла, который используется им в случае охлаждения. Этот потенциальный запас тепла составляет в среднем 8360 кДж и находится главным образом во внешних слоях тканей организма на глубине 2-3

см от кожи. При известном уменьшении запаса тепла у человека появляются субъективно ощущения «прохлады», которые, если охлаждение продолжается, сменяются ощущениями «холодно», «очень холодно»

Действующими нормативными документами, регламентирующими метеорологические условия производственной среды, являются ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» Этими документами установлены влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений с учетом избытков явного тепла, тяжести выполняемой работы и сезонов года.

В соответствии с вышеуказанным стандартом теплым периодом года считается сезон, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха +10 °С.

Допустимыми считаются такие параметры микроклимата, которые при длительном воздействии могут вызывать напряжения реакции терморегуляции человека, но к нарушению состояния здоровья не приводят.

Оптимальными являются такие микроклиматические параметры, которые не вызывают напряжения реакций терморегуляции и обеспечивают высокую работоспособность человека.

Расчет показателей микроклимата базируются на опытных данных о давлении, температуре и скорости движения воздуха на рабочем месте полученных при замерах на нем с помощью соответствующих приборов

Показатели микроклимата вычисляются в следующей последовательности:

1. Атмосферное давление В, Па, на рабочем месте, измеренное с помощью барометра-анероида БАММ-1

$$В = В_п + В_ш + В_т + В_д\,, \qquad (3.1)$$

где В– исправленное значение замеренного давления, Па; Вп – отсчет по прибору, Па; Вш – шкаловая поправка;Вт – температурная поправка, равная произведению температуры прибора на удельную температуру поправки прибора; Вд – добавочная поправка, Па.



Рис. 3.1 Барометр-анероид «БААМ-1»

Барометр-анероид «БААМ-1» измеряет атмосферное давление в наземных условиях в диапазоне температур от 0 до +40 С° и при относительной влажности воздуха более 80%

2. Температура воздушной среды измеряется с помощью ртутных или спиртовых термометров, а также с помощью термографов, обеспечивающих непрерывную запись температуры на ленте за определенный период времени. Температуру воздушной среды можно измерить также с помощью психрометров и термометров

3. Влажность воздуха – абсолютная и относительная определяется с помощью психрометров. Психрометр состоит из сухого и влажного термометров. Резервуар влажного термометра покрыт тканью, которая опущена в мензурку с водой. Испаряясь, вода охлаждает влажный термометр, поэтому его показания всегда ниже показания сухого.

Психрометры бывают типа Августа (Рис 3.2) и переносными, типа Ассмана (Рис 3.3). Психрометр Ассмана является более совершенным и точным прибором по сравнению с психрометром Августа. Принцип его устройства тот же, но термометры заключены в металлическую оправу, шарики термометра находятся в двойных металлических гильзах, а в головке прибора помещается вентилятор с постоянно скоростью 4 м/с.

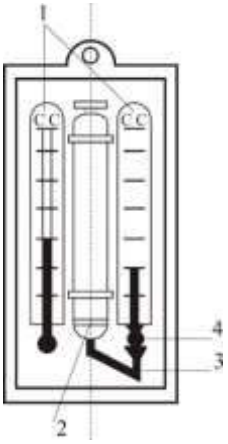


Рис. 3.2 Психрометры Августа

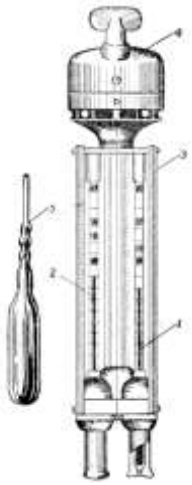


Рис. 3.3 Психрометр Ассмана

Влажность воздуха может быть рассчитана: 1) по давлению водяного пара, находящегося в воздухе или 2) по плотности водяного пара

При первом способе сначала определяется давление водяного параЮ находящегося в воздухе при данной температуре

$$P_{в.п} = P_{н.в} - c(T_c - T_B)B \quad (3.2)$$

где Рн.в– давление насыщенного водяного пара при температуре tв, зафиксированной влажным термометром, Па;с–коэффициент психрометра, зависящий от скорости движения воздуха около шарика мокрого термометра (при скорости движения воздуха до 4 м/с принимают с = 0.00074, свыше 4 м/с – 0,00066) tc и tв – температура сухого и влажного термометра,В–

барометрическое давление воздуха в момент измерения температур психрометром, Па

Определив порациональнее давление водяного пара, находят относительную влажность воздуха

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\%, \quad (3.3)$$

где $P_{н.с}$– давление насыщенного водяного пара при температуре t_c, зафиксированной влажным термометром,

При расчете влажности воздуха по плотности водяного пара определяются:

а) абсолютная влажность воздуха (масса водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре)

$$F = \frac{(1000 * P_{в.п})}{(461{,}5(273 + t_c))}, \quad (3.4)$$

где 461,5 – удельная газовая постоянная водяного пара Дж/(кг *К);

б) максимальная абсолютная влажность воздуха

$$A_{max} = \frac{1000 * P_{н.с}}{461{,}5 * (273 + t_c)}, \quad (3.5)$$

в) относительная влажность воздуха φ

$$\varphi = \frac{A}{A_{max}} * 100, \quad (3.6)$$

Таблица 3.0

Давление насыщенного водяного пара Р, Па при температуре воздуха

t, С	Р, Па	t, С	Р, Па	t, С	Р, Па	t, С	Р, Па
0	611	10	1228	20	2328	30	4242
1	657	11	1312	21	2486	31	4493
2	705	12	1403	22	2644	32	4754
3	759	13	1497	23	2809	33	5030
4	813	14	1599	24	2894	34	5320
5	872	15	1705	25	3168	35	5624
6	935	16	1817	26	3361	36	5941

7	1001	17	1937	27	3565	37	6275
8	1073	18	2064	28	3780	38	6625
9	1148	19	2197	29	4005	39	6991

Значение относительной влажности φ, найденного описанными способами, может быть проверено по данным психометрической таблицы

4. Скорость движения воздуха измеряется с помощью крыльчатых или чашечных анемометров (Рис 3.4). Крыльчатый анемометр принимается для измерения скорости воздуха до 10 м/с, а чашечный – до 30м/с. Принцип действия анемометров обоих типов основан на том, что частоты вращения крыльчатки тем больше, чем больше скорость движения воздуха. Вращение крыльчатки передается на счетный механизм. Разница в показаниях до и после измерения, деленная на время наблюдения, показывает число делений в 1 с. Специальный тарировочный паспорт, предлагаемый к каждому прибору позволяет по вычисленной величине делений определить скорость движения воздуха.



Рис 3.4 Чашечный анемометр

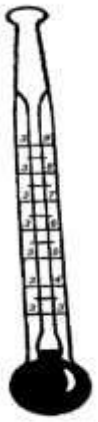


Рис. 3.5 Кататермометр

Скорость движения воздуха в интервале величин от 0.1 до 0.5 м/с можно определить с помощью кататермометра (Рис.3.5). Шаровой кататермометр представляет собой стартовый термометр с двумя резервуарами: шаровым внизу и цилиндрическим вверху. Шкала кататермометра имеет давление от 31 до 41 градуса. Для работы с этим прибором его предварительно нагревают на водяной бане, затем вытирают насухо и помещают в исследуемое место. По величине падения столба спирта в единицу времени на кататермометре при его охлаждении судят о скорости движения воздуха. Для измерения малых скоростей (от 0.03 до 5 м/с) при температуре в производственных помещениях не ниже 10С применяется термоанемометр. Это электрический прибор на полупроводниках, принцип его действия основан на измерении величины сопротивления датчика при изменении температуры и скорости движения воздуха.

Таблица 3.1

Значения относительной влажности

t_c °C	Разность показаний сухого и влажного термометров t_c - t_b °C									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Относительная влажность φ, %									
0	100	81	63	45	28	11				

1	100	83	65	48	32	16				
2	100	84	68	51	35	20				
3	100	84	69	54	39	24	10			
4	100	85	70	56	42	28	14			
5	100	86	72	58	45	32	19	6		
6	100	86	73	60	47	35	23	10		
7	100	87	74	61	49	37	26	14		
8	100	87	75	63	51	40	29	18	7	
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11	
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5

Продолжение табл. 3.1

11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41

28	100	93	85	78	71	65	59	52	48	42
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44

Скорость движения воздуха V, м/с , при замере ее анемометром АСО-3 подсчитывается по формуле

$$V = an + b, \quad (3.7)$$

где n число делений в 1 с; $n = \frac{n_к - n_н}{t_{зам}}$; $n_н$ и $n_к$ – начальный и конечный отсчеты по анемометру; t зам – продолжительность замера по прибору.

При выполнении настоящего практического занятия рекомендуется использовать формулу:

$$V = 0{,}45n + 0{,}01$$

5. Гигиеническая оценка результатов расчета параметров микроклимата: производится по санитарным нормам, приведенным в ГОСТ 12.1.005-88.

Таблица 3.2

Оптимальные нормы температуры, относительно влажности и скорости движения воздуха по рабочей зоне производственных помещений

Период Года	Категория Работ	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха м/с не более
Холодный (температура наружного воздуха ниже +10°С)	Легкая – 1	22-24	40-60	0,1
	Легкая – 1б	21-23	40-60	0,1
	Средней тяжести – Па	18-20	40-60	0,2
		17-19	40-60	0,2
	Средней тяжести – Пб	16-18	40-60	0,3
	Тяжелая – III			

Теплый (температура наружного воздуха +10°С и выше)	Легкая – 1а	23-25	40-60	0,1
	Легкая – 1б	22-24	40-60	0,2
	Средней тяжести – Па	21-23	40-60	0,3
	Средней тяжести – Пб	20-22	40-60	0,3
	Тяжелая - III	18-20	40-60	0,4

Пример расчета:

Исходный данные: B_n= 87937 Па,$B_ш$ = -50 Па, t_c = 22 °С, t_c = 16 °С, $\Delta t = -\frac{10Па}{°С}$, $B_д$= +100 Па, $n_н$=6000, t зам= 200с, период года – теплый.

Решение:

1. Атмосферное давление на рабочем месте (при температурной поправке)

$$B_т = t_c * \Delta t = 22(-10) = -220\ Па$$

$$B = B_n + B_ш + B_т + B_д = 87837 - 50 - 220 + 110 = 87667\ Па.$$

2. Скорость движения воздуха по исходным данным, полученным при помощи анемометра АСО-3. При числе давлений в 1с

$$n = \frac{n_к - n_н}{t_{зам}} = 6040 - \frac{6000}{200} = 0{,}2\ дел/с$$

Скорость движения воздуха составляет;

$$V=0{,}45n + 0{,}01 = 0{,}45 * 0{,}2 + 0{,}01 = 0{,}10\ м/с$$

3. Относительная влажность воздуха по давлению водяного пара. При давлении насыщенного водяного пара при температуре сухого термометра Рн.с = 2644 Па и температуре влажного термометра Р н.в = 1817 Па и парциальном давлении водяного пара в воздухе:

$$P_{в.п} = P_{н.в} - C(t_c - t_в) * B = 1817 - 0{,}00074 * (22 - 16) * 87837 = 1427\ Па$$

относительная влажность воздуха:

$$\varphi = \frac{P_{в.п}}{P_{н.с}} 100 = \frac{1427}{2644} 100 = 54\%$$

3б. Относительная влажность воздуха по плотности (массе) водяного пара. При абсолютной влажности воздуха:

$$A = \frac{1000 * P_{в.п}}{461{,}5(273 + t_c)} = \frac{1000 * 1527}{461{,}5(273 + 22)} = 10{,}48 \text{ г/м}^3$$

И максимальной влажности воздуха:

$A_{max} = \frac{1000 * P_{н.с}}{461{,}5(273+t_c)} = \frac{1000*2644}{461{,}5(273+22)} = 19{,}42 \text{ г/м}^3$относительная влажность воздуха равна:

$$\varphi = \frac{A}{A_{max}} 100 = \frac{10{,}48}{19{,}42} 100 = 54\%$$

3в. Правильность произведенных подсчетов φ подтверждают данные таблицы. При разности показаний сухого и влажного термометров Тс – Тв = 22 – 16 = 6 ℃ относительная влажность воздуха φравна 54%

Варианты заданий

Для выполнения задания даются следующие показатели: отсчет по барометру Вп Температура воздуха по сухому (Тс) и влажному (Тв) термометрам психрометра, начальный (Nн) и конечный (Nк) отсчеты по анемометру, продолжительность замера скорости движения воздуха Тзам, период года (холодный, теплый) Для отсчета скорости движения воздуха использовать формулу

$$V = 0{,}45n + 0{,}01$$

Интенсивность теплового излучения на рабочем месте полагать равной 50 Вт/м^2. Числовые значения исходных данных приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Числовые значения поправок к барометру

вариант	Вв, Па	Вш, Па	$\Delta t, Па/°С$	Ва, Па	Тс, °С	Тв,°С	Nн	Nк	Т зам, °С	Период года
1	110146	-100	-10	+100	23	18	6000	6246	140	Холодный
2	105752	-100	-10	+100	22	16	6107	6138	155	То же
3	97989	+75	-10	+100	18	13	6357	6407	160	То же
4	90498	+25	-10	+100	17	11	6841	6909	170	То же
5	94232	+150	-10	+100	16	11	6944	7051	200	То же
6	103379	-50	-10	+100	24	17	6107	6387	150	Теплый
7	107509	-100	-10	+100	23	17	6305	6696	187	То же
8	89371	0	-10	+100	22	15	6421	6501	190	То же
9	94263	+150	-10	+100	20	15	6725	6830	175	То же
10	96946	+100	-10	+100	19	12	6100	6176	11	То же

Порядок выполнения работы

1. Расчет и оформление практической работы провести в соответствии с примером расчета. Варианты заданий определяются пр-ем.

2. Результаты расчетов микроклимата на рабочем месте в производственном помещении занести в таблицу.

Таблица 3.4

Пример заполнения таблицы

Температура воздуха		Относительная влажность %		Скорость движения воздуха	
Фактическая данная	Оптимальная по нормам	Фактическая рассчитанная	Оптимальная по нормам	Фактическая рассчитанная	Оптимальная по нормам

3. На основании полученных результатов определить категорию работ, в соответствии с периодом года.

4. Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под микроклиматом производственных помещений?
2. Опишите характер действия климатических факторов на организм человека.
3. В чем состоит нормирование воздействий климатических факторов на человека?
4. Как определяют давление, температуру, относительную влажность и скорость движения воздуха?
5. Назовите способы и средства нормализации микроклимата на рабочих местах.

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4. РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ И БОРЬБА С ИЗБЫТОЧНЫМ ТЕПЛОМ В ШАХТАХ

Цель практического занятия - закрепление теоретических знаний, полученных при изучении темы «Комфортные условия жизнедеятельности», и овладение методикой расчета тепловыделений в выработки глубоких шахт и выбора технических решений по борьбе с избыточным теплом.

Общие сведения. Климатические условия в подземных выработках, особенно в глубоких шахтах, как правило, отличаются от климатических условий на земной поверхности. Микроклимат горных выработок (т. е. действующее в них на организм человека сочетание температуры, влажности, скорости движения воздуха, его давления и температуры окружающих поверхностей) в значительной степени зависит от теплообменных процессов, происходящих на пути движения воздуха. Под воздействием этих процессов температура шахтного воздуха в выработках существенно повышается с увеличением глубины ведения горных работ.

Нагревание воздуха, движущегося по горным выработкам, происходит в результате:

- теплообмена между потоком шахтного воздуха и окружающим выработки массивом горных пород, т. е. охлаждения пород;
- естественного адиабатического сжатия воздуха при движении его вниз по вертикальным и наклонным выработкам;
- изменения содержания влаги в воздухе;
- теплообмена между воздухом и подземной водой, текущей по выработкам;
- окисления угля, угольной пыли, сульфидных руд, крепежного леса и некоторых других веществ;
- охлаждения отбитых и транспортируемых масс угля и породы;
- работы горных машин и механизмов;
- выделения тепла осветительными установками, электрическими кабелями, трубопроводами сжатого воздуха, телом человека, а также действия других второстепенных факторов.
- Вызванное перечисленными факторами приращение температуры шахтного воздуха (оС = К), может быть определено из выражения

$$\Delta t = \frac{\Sigma Q_i}{C_p \rho V}, \qquad (4.1)$$

где $\sum Q_i$ - суммарное количество теплоты, идущее на нагревание воздуха, кДж/ч; C_p - удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, кДж/(кг·К); ρ - плотность воздуха, кг/м^3; V - объемный расход воздуха, м^3/ч.

Шахтный воздух уже при температуре свыше 25 °С оказывает отрицательное тепловое воздействие на физиологию и гигиену труда подземных рабочих. При задержке отдачи телом человека накопившегося в нем тепла возникает перегрев организма, осложняющий протекание жизненных процессов. Чрезмерный перегрев организма вызывает ухудшение самочувствия человека, приводит к серьезным заболеваниям (в наиболее тяжелых случаях - к

тепловому удару, или стрессу, или даже к смерти), увеличивает вероятность травматизма, снижает производительность труда.

Изменение температуры воздуха (и других параметров микроклимата) в подземных выработках оказывает влияние также на физико-механические свойства горных пород и на безопасное состояние сооружений и выработок.

Расчет выделения теплоты в выработки глубоких шахт ведется по следующим зависимостям.

1. Тепловыделение при охлаждении горных пород. Количество теплоты $Q_{охл}$, кДж/ч, выделяющееся вследствие охлаждения окружающих выработку горных пород, описывается уравнением Ньютона для конвективного теплообмена

$$Q_{охл} = K_{\tau} P l (t_{п} - t_{в}), \qquad (4.2)$$

где K_{τ} - коэффициент нестационарного теплообмена между массивом горных пород и воздухом, кДж/(м^2·ч·К) (рассчитывается по формуле, приводимой ниже); P и l - периметр и длина выработки, м; $t_{п}$ - естественная температура неохлажденных пород на данной глубине, (°С = K, расчет приводится ниже); $t_{в}$= $t_{пб}$ - допустимая температура воздуха в выработке, °С (принимается согласно Правилам безопасности).

Коэффициент K_{τ}, кДж/(м^2·ч·К) определяется по формуле

$$K_{\tau} = \frac{\lambda}{1+\frac{\lambda}{2\alpha_0 R_э}} \cdot \left[\frac{1}{2R_э} + \frac{1}{\sqrt{\pi a \tau (1+\frac{\lambda}{2\alpha_0 R_э})}} \right], \qquad (4.5)$$

где λ - коэффициент теплопроводности породы, кДж/(м·ч·К) (принимается по табл. 3.1); α_0 - суммарный коэффициент теплоотдачи от стен шахтной выработки к воздуху, кДж/(м^2·ч·К) (расчет ниже); $R_э$ - эквивалентный радиус выработки, м: $R_э = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 0.564\sqrt{S}$, a - коэффициент температуропроводности

породы, м^2/ч: $\alpha = \frac{\lambda}{c_п \cdot \rho_п}$ (принимается по табл. 3.1); $c_п$ - удельная теплоемкость породы, кДж/(кг·К) (принимается по табл. 3.1); $\rho_п$ - плотность породы, кг/м^3 (принимается по табл. 3.1); τ - расчетное время процесса теполообмена, ч (например, при длительности процесса теплообмена 4 года значение τ = 4·365·24 = = 35040 ч).

Таблица 4.0

Тепловая характеристика пород

Порода	ρ, кг/м^3	$c_п$, кДж/(кг·К)	λ, кДж/(м·ч·К)	a, м^2/ч
Песчаник (Центральный Донбасс)	2475	0,854	9,211	0,00436
Глинистые и песчанистые сланцы (там же)	2450	0,904	6,363	0,00287
Уголь (там же)	1225	1,184	1,051	0,00073
Бурый уголь (Челябинский бассейн)	1210	1,130	0,913	0,00067
Каменный уголь (Карагандинский бассейн)	1275	1,055	0,963	0,00072
Углистый сланец	1765	1,021	3,006	0,00167
Глинистый сланец	2433	0,992	3,354	0.00139
Змеевик	2690	0,950	5,694	0,00223
Гранит	2722	0,917	7,972	0.00319
Серный колчедан (Дегтярское месторождение)	4620	0,908	15,010	0,00358
Медный колчедан (там же)	4716	0,862	15,165	0,00373

Суммарный коэффициент теплоотдачи с поверхности горной выработки α_0, кДж/(м^2·ч·К), находится их выражения

$$\alpha_0 = \alpha_к + \alpha_и,$$

где $\alpha_к$ - конвективный коэффициент теплоотдачи от стен выработки к воздуху, кДж/(м^2·ч·К)

$$\alpha_к = 2{,}9 \cdot 4{,}1868 \frac{V^{0.8}}{Д_э^{0,2}} = 12{,}14 \frac{V^{0.8}}{Д_э^{0,2}}$$

где v - скорость движения воздуха в выработке, м/с; $Д_э$ - эквивалентный диаметр выработки, м: $Д_э = \frac{4S}{P}$; $\alpha_и$ - коэффициент, учитывающий испарения влаги с мокрых стен выработки, кДж/(м^2·ч·К)

$\alpha_и = 1{,}3\beta \cdot r$,

где β - коэффициент массоотдачи (коэффициент испарения), кг/(м^2·ч·К), принимается равным 0,01 - для стволов, 0,15 - для капитальных выработок, 0,03 - для лав; r - теплота парообразования воды, принимается r = 2256 кДж/кг.

Температура горных пород в массиве $t_п$, ºС, на заданной глубине H, м, от земной поверхности определяется по формулам:

$$t_п = h \cdot t_н + \frac{H - H_0}{Г_{ст}} \text{ или } t_п = h \cdot t_н + (H - H_0)\delta, \qquad (4.6)$$

где $t_п$ - температура пород нейтрального слоя (зоны с постоянной температурой пород) в данной местности; принимается примерно равной среднегодовой температуре воздуха на земной поверхности в данном районе, ºС; $t_н$ = 8,5; 2,5; 2,5; 3,0 °С для условий соответственно Донбасса, Кузбасса, Караганды и Мосбасса; H_0 - глубина (толщина) нейтрального слоя, м: H_0 = 20-40 м; $Г_{ст}$ - геотермическая ступень данного района, м/ºС: в среднем $Г_{ст}$ составляет для угольных месторождений 30–40 м/ ºС, рудных 50-140 м/ ºС, нефтяных 15-20 м/ ºС; δ - геотермический градиент, ºС/м.

2. Тепловыделение при сжатии воздуха. Количество теплоты $Q_{сж}$, кДж/ч, выделяющееся при движении воздуха вниз по вертикальным и наклонным выработкам, определяется выражением

$$Q_{сж} = 9{,}81 \cdot \rho \frac{V_в \cdot H}{1000} = 0{,}00981 \cdot \rho \cdot V_в \cdot H, \qquad (4.7)$$

где ρ - плотность воздуха, кг/м^3; $V_в$ - количество воздуха, проходящего по выработке (объемный часовой расход воздуха), м^3/ч: $V_в = 3600 \cdot v \cdot S$;

v - скорость движения воздуха в выработке, м/с; S - площадь поперечного сечения выработки, м^2; H - глубина расположения выработки, м; для наклонной выработки

$$H = l_н \cdot sin\,\psi, \tag{4.8}$$

где $l_н$ - длина наклонной выработки; ψ - угол наклона выработки, град.

3. Тепловыделение при окислительных процессах. Количество теплоты $Q_{ок}$, кДж/ч, образующееся при окислении угля, угленосных сланцев, сульфидных руд и древесины, подсчитывается по формуле А. Ф. Воропаева

$$Q_{ок} = q_{ок} \cdot V^{0,8} \cdot P \cdot l, \tag{4.9}$$

где $q_{ок}$ - тепловыделение в результате окислительных процессов, приведенное к скорости движения воздуха в выработке, V = 1 м/с, кДж/(м^2·ч); $q_{ок}$ можно принимать равным 12-21 кДж/(м^2·ч).

4. Тепловыделение от местных источников. К местным источникам теплоты относят электродвигатели, трансформаторы, светильники, электрические кабели, трубопроводы сжатого воздуха, пневматические двигатели, другие тепловыделяющие машины, механизмы и устройства, а также работы, производимые с применением бетона на участке выработки или в призабойной зоне, когда тепло выделяется при его отвердении.

Расчетные формулы для определения количества теплоты от местных источников имеют следующий вид:

4.1. Тепловыделение при работе ***электродвигателей*** горных машин и освещения $Q_{эд}$, кДж/ч

$$Q_{эд} = \frac{3600 \cdot N_{потр} \cdot k_з}{\eta_э}, \tag{4.10}$$

где $N_{потр}$ - потребляемая мощность электродвигателей и осветительных установок, кВт; $k_з$ - коэффициент загрузки оборудования во времени: $k_з$ = 0,8; $\eta_э$ - к. п. д. электродвигателя: $\eta_э$ = 0,95.

4.2. Тепловыделение в выработку (ствол, уклон, бремсберг и др.) при эксплуатации ***лебедок*** $Q_л$, кДж/ч:

- при подъеме груза лебедкой $Q_{лп} = 3600 \cdot N_л \cdot k_з(1 - \eta_м)$;

- при спуске груза лебедкой $Q_{лс} = 3600 \cdot N_л \cdot k_з$.

где $N_л$ - установленная мощность электродвигателя лебедки, кВт; $\eta_м$ - механический к. п. д.: $\eta_м = 0,8$.

4.3. Тепловыделение при работе ***трансформатора*** $Q_{тр}$, кДж/ч

$$Q_{тр} = 3600 \cdot N_{тр} \cdot p_{тр}, \quad (4.11)$$

где $N_{тр}$ - мощность трансформатора, кВт; $p_{тр}$ - тепловые потери трансформатора: $p_{тр} = 0,04 \div 0,05$.

4.4. Тепловыделение при затвердевании монолитной ***бетонной крепи*** $Q_б$, кДж/ч

$$Q_б = q_б \cdot P \cdot l_ц, \quad (4.12)$$

где $q_б$ - удельное выделение теплоты при отвердевании бетона, кДж/(м^2·ч); принимается $q_б = 200 \div 400$ кДж/(м^2/ч); P - периметр выработки, м; $l_ц$ - длина участка бетонирования, контактирующего с вентиляционной струей за один цикл проходки, м.

4.5. Тепловыделение при ***взрыве ВВ***. В выработке большого сечения при использовании более 100 кт ВВ тепловыделение при взрыве $Q_{взр}$, кДж/ч, рассчитывается по формуле

$$Q_{взр} = 0,8 \cdot q_{взр} \cdot m_з, \quad (4.13)$$

где $q_{взр}$ - удельное тепловыделение при взрыве 1 кг ВВ, кДж/кт; $m_з$ - масса заряда, кг.

Таблица 4.1

Рекомендуемые значения $q_{взр}$ для применяемых ВВ

Аммонит ПЖВ-20	3360		Аммонит АП-5ЖВ	3780

Угленит Э-6	2570		Аммонит скальный №1	5400
Победит ВП-4	3810		Аммонит № 6 ЖВ	4290
Аммонит АП-4ЖВ	3560		Игданит	3790

4.6. Тепловыделение при работе шахтных ***вентиляторов*** происходит в результате работы электродвигателя, внутренних потерь энергии в вентиляторе и аэродинамического сжатия воздуха. Количество теплоты $Q_{вен}$, кДж/ч, поступающее в выработку при работе вентилятора, выражается формулой

$$Q_{вен} = 3600 \cdot V_{вс} \frac{h_в}{1000\eta_{ву}} = 3{,}6 \cdot V_{вс} \frac{h_в}{\eta_{ву}}, \quad (4.14)$$

где $V_{вс}$ - количество воздуха, проходящего по выработке (секундный расход), м^3/с; $h_в$ - депрессия выработки, Па;

$$h_в = \alpha_в \cdot P \cdot l \frac{v^2}{S}, \quad (4.15)$$

где $\alpha_в$ - коэффициент аэродинамического сопротивления трения выработки, Н·с^2/м^4 = Па· с^2/м^2; P, l, S - периметр, длина и площадь поперечного сечения выработки, м, м, м^2; v - средняя скорость движения воздуха по выработке, м/с;

$$\eta_{ву} = \eta_в \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_п, \quad (4.16)$$

$\eta_в$ = 0,6÷0,8; $\eta_{дв}$ = 0,85÷0,95 и $\eta_п$ - к. п. д. соответственно вентиляторной установки, вентилятора, двигателя и редукторной ($\eta_п$ = 1) или ременной ($\eta_п$ = = 0,9÷0,95) передач.

Подставляя (4.15) в (4.16) и учитывая, что

$$V_{вс} = v \cdot S \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.17)$$

получим (кДж/ч)

$$Q_{вен} = 3{,}6 \cdot \alpha_в \cdot P \cdot l \frac{v^3}{\eta_{ву}}. \quad (4.18)$$

4.7. Тепловыделение при работе ***людей*** $Q_л$, кДж/ч

$$Q_л = q_л \cdot n_л, \quad (4.19)$$

где $q_л$ - количество теплоты, выделяемое работающим человеком, кДж/ч·чел $q_л$ = 1050÷2500 кДж/ч·чел.; $n_л$ - число одновременно работающих людей в выработке.

5. Общее тепловыделение в выработку $Q_{общ}$, кДж/ч, находится суммированием всех частных выделений теплоты

$$Q_{общ} = \sum_{i=1}^{n} Q_i \quad (4.20)$$

Способы искусственного охлаждения шахтного воздуха

Целью искусственного охлаждения шахтного воздуха является отвод определенного («излишнего») количества теплоты от него при помощи охлаждающего вещества. Тепло от воздуха можно отвести путем соприкосновения последнего с какой-либо холодной поверхностью или путем смешения его с газообразной струей, имеющей температуру ниже температуры воздуха.

Борьба с избыточным выделением теплоты в горные выработки ведется по нескольким направлениям:

- предохранение воздуха от нагревания при его движении к местам потребления;
- охлаждение воздуха без применения специальных холодильных машин;
- охлаждение воздуха с применением холодильных машин (кондиционирование).

Способы предупреждения нагревания шахтного воздуха включают в себя следующее:

- увеличение количества подаваемого в выработки воздуха путем повышения мощности вентиляторных установок, увеличения скорости движения воздуха, расширения сечений воздухоподающих выработок;

- замена машин с электроприводам машинами с пневматическим приводом;
- тепло- и гидроизоляция стен выработок;
- теплоизоляция и тщательное уплотнение воздухоподающих трубопроводов;
- предупреждение возникновения интенсивных окислительных процессов;
- сокращение пути движения воздуха к местам потребления путем выбора соответствующей схемы проветривания, проведения дополнительных выработок и скважин;
- подача воздуха к местам потребления по специально пройденным выработкам, где скорость движения воздуха может быть существенно увеличена;
- замена восходящего проветривания очистных выработок нисходящим проветриванием (при соблюдении соответствующих требований ПБ).

Для предотвращения нагревания воздуха без применения холодильных машин используются следующие способы:

- осушение воздуха сорбентами, т. е. веществами, способными поглощать влагу из воздуха (например, хлористым кальцием);
- охлаждение воздуха льдом;
- охлаждение воздуха жидким воздухам, при испарении которого поглощается значительное количество теплоты;
- охлаждение воздуха сжатым воздухам (например, от пневмо-кондиционеров);
- охлаждение воздуха водой: путем непосредственного соприкосновения охлаждающей воды с воздухом либо через поверхность труб, где воздух охлаждается в специальных теплообменниках;

- пропускание воздуха через тепловыравнивающие каналы путем подвода воздуха к стволу по горизонтальным выработкам, пройденным на глубине среднегодовой температуры.

Наиболее эффективным является искусственное охлаждение воздуха в системах кондиционирования: в компрессорных и абсорбционных холодильных установках. Холодильные установки бывают передвижные и стационарные. Передвижные установки предназначены для охлаждения воздуха в тупиковых выработках или в отдаленных очистных забоях. Стационарные установки располагаются как на земной поверхности, так и в подземных условиях.

Хладопроизводительность (холодильная мощность) **отечественных шахтных холодильных агрегатов и кондиционеров составляет:**

- передвижных кондиционеров ВК-230 - 230 кВт, КПШ-3 – 105 кВт, КПШ-40 - 47 кВт, КПШ-40П с пневмоприводом - 52 кВт;
- турбокомпрессионных холодильных машин ШХТМ-1300 - 1500 кВт, ХТМФ-235М-2000 - 2325 кВт, ХТМФ-248-4000 - 4650 кВт;
- поршневой холодильной машины МФ-220-1РШ - 255 кВт;
- абсорбционной холодильной машины АБХА-2500-2В – 2800 кВт.

Для стационарной работы на поверхности используются машины ХТМФ-235-2000, ХТМФ-248-4000, АБХА-2500-2В, а машины ШХТМ-1300 и МФ-220-1РШ устанавливаются на глубоких горизонтах.

Охлаждение шахтного воздуха с применением холодильных машин становится необходимым, когда общее тепловыделение в выработку $Q_{общ}$ превышает тепловыделение в нее, допускаемое Правилами безопасности, $Q_{пб}$, т. е. при условии

$$Q_{общ} > Q_{пб}.$$

Поскольку эти количества теплоты описываются формулами:

$$Q_{общ} = c_р \cdot \rho \cdot V_{теп} \cdot (t_{пб} - t_н) \text{ и } Q_{пб} = c_р \cdot \rho \cdot V_в \cdot (t_{пб} - t_н),$$

то критерий необходимости кондиционирования воздуха в выработке может быть записан в виде соотношения

$$V_{теп} > V_в,$$

где $V_{теп}$ - количество воздуха, которое необходимо подать в выработку по тепловому фактору без охлаждения воздуха, м^3/ч;

$$V_{теп} = \frac{Q_{общ}}{c_р \cdot \rho \cdot \Delta t'} \quad (4.21)$$

где $c_р$ - удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, кДж/(кг·К) $c_р$ = 0,241 ккал/(кг·К)·4,1868 кДж/ккал = 1,009 кДж/(кг·К); ρ - плотность воздуха, кг/м^3; Δt - перепад температур между выходящим (отработанным) и входящим (свежим) воздухам, проходящим по выработке, К (°С):

для стволов $\Delta t = t_в - t_н$, для подземных выработок $\Delta t = t_п - t_в$.

При необходимости кондиционирования воздуха следует выбрать тип кондиционера, рассчитать потребное количество кондиционеров и проверить правильность их установки.

Требуемая хладопроизводительность кондиционера $N_к'$, кВт, находится по формуле

$$N_к^/ = \frac{c_h \cdot \rho \cdot V_d (t_н - t_{пб})}{3600} \quad (4.22)$$

К установке принимают кондиционер хладопроизводительностью

$$N_К \geq N_К^/$$

При установке кондиционера в выработке (обычно одного) температура смеси за кондиционером $t_{см}$, °С (=К), определяется соотношением

$$t_{см} = t_п - 3600 \frac{N_К}{C_р \cdot \rho \cdot V_в} \quad (4.23)$$

Достаточность установки кондиционера проверяется по условию

$$t_{см} < t_в$$

Если $t_{см} > t_в$, то необходимо установить более мощный кондиционер.

Пример расчета. Исходные данные:

выработка - ствол шахты,

$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 38{,}5$ м^2,

$r_э = 3{,}5$ м,

$d = d_э = 7$ м,

$P = \pi \cdot d = 22$ м,

$l = H = 1200$ м,

$\alpha = 0^o$,

$H_0 = 20$ м,

$\delta = \frac{1}{\Gamma_{ст}} = 0{,}035$ м/^{o}C,

порода - песчаник,

$\rho_п = 2400$ кг/м^3,

$c_п = 0{,}858$ кДж/(кг·К),

$\lambda = 9{,}21$ кДж/(м·ч·К),

$a = \frac{\lambda}{c_п \cdot \rho_п} = 0{,}00477$ м^2/ч,

v = 2 м/с,

$\tau = 7$ лет $= 7 \cdot 365 \cdot 24 = 61320$ ч,

$t_н = 8{,}5$ ^{o}C,

$t_в = t_{пб} = 24$ ^{o}C,

$N_{потр} = 100$ кВт,

$N_п = 90$ кВт,

$\alpha_б = 0{,}0040$ кгс·с^2/м^4 =

$= 0{,}0392$ Па· с^2/м^2,

$N_{тр} = 100$ кВт,

$n = 7$ человек.

Для обеспечения возможности выполнения расчета тепловыделений по приведенным выше формулам принимаем дополнительно следующие данные (параметры):

$\beta = 0{,}01$ кг/(м^2·ч·К),

$r = 2256$ кДж/кг,

$\rho = 1{,}25$ кг/м^3,

$q_{ок} = 16$ кДж/(м^2·ч),

$\kappa_з = 0{,}8$,

$\eta_{дв} = 0{,}95$,

$P_{тр} = 0{,}05$,

$q_б = 200$ кДж/(м^2·ч),

$l_ц = 5$ м,

$q_п = 2000$ кДж/(ч·чел),

$\eta_{ву} = \eta_у \cdot \eta_{дв} \cdot \eta_п = 0{,}7 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}95 = 0{,}56$,

$c_р = 1{,}009$ кДж/(кг·К).

Подсчитываем количества теплоты, выделяющиеся в выработку.

1. Тепловыделение при охлаждении горных пород

$$\alpha_k = 12.4 \cdot \frac{V^{0.8}}{d_э{}^{0.2}} = 12.4 \cdot \frac{2^{0.8}}{7^{0.2}} = 14.32, \text{кДж/(м}^2\text{·ч·К;}$$

$$\alpha_и = 1.3 \cdot \beta \cdot r = 1{,}3 \cdot 0{,}001 \cdot 2256 = 29{,}33, \text{ кДж/(м}^2\text{·ч·К);}$$

$$\alpha_0 = \alpha_k + \alpha_и = 14{,}32 + 29{,}33 = 43{,}65, \text{ кДж/(м}^2\text{·ч·К);}$$

$$K_т = \frac{\frac{\lambda}{1+\frac{\lambda}{2\alpha_0 \cdot R_э}}}{} \cdot \left[\frac{1}{2R_э} + \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot a \cdot \tau}\left(1+\frac{\lambda}{2\alpha_0 \cdot R_э}\right)}\right] =$$

$$\frac{9{,}211}{1+\frac{9{,}211}{2 \cdot 43{,}65 \cdot 3{,}5}} \cdot \left[\frac{1}{2 \cdot 3{,}5} + \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot 0{,}00447 \cdot 61320}\left(1+\frac{9{,}211}{2 \cdot 43{,}65 \cdot 3{,}5}\right)}\right] = 1{,}57,$$

кДж/(м^2·ч·К);

$$t_п = t_Н + (H - H_0)\delta = 8{,}5 + (1200 - 20)0{,}035 = 50\ °C;$$

$$Q_{охл} = K_т \cdot P \cdot l(t_п - t_в) = 1{,}57 \cdot 22 \cdot 1200(50 - 24) = 107764 \text{ кДж/ч.}$$

2. Тепловыделение при сжатии шахтного воздуха

$$V_и = 3600 \cdot v \cdot S = 3600 \cdot 2 \cdot 38{,}5 = 277200 \text{ м}^3\text{/ч;}$$

$$Q_{сж} = 0{,}00981 \cdot \rho \cdot V_В \cdot H = 0{,}00981 \cdot 1.25 \cdot 277200 \cdot 1200 = 4078998$$

кДж/ч.

3. Тепловыделение при окислительных процессах

$$Q_{ок} = q_{ок} \cdot V^{0,8} \cdot P \cdot l = 16 \cdot 2^{0,8} \cdot 22 \cdot 1200 = 735441 \text{ кДж/ч.}$$

4. Тепловыделение от местных источников:

- при работе электродвигателей горных машин и освещения

$$Q_{ЭД} = \frac{3600 \cdot N_{потр} \cdot K_з}{\eta_{ДВ}} = \frac{3600 \cdot 100 \cdot 0{,}8}{0{,}95} = 303158 \text{ кДж/ч;}$$

- при спуске груза лебедкой

$$Q_{ЛС} = 3600 \cdot N_п \cdot K_з = 3600 \cdot 90 \cdot 0{,}8 = 259200 \text{ кДж/ч;}$$

- при работе трансформатора

$$Q_{ТР} = 3600 \cdot N_{ТР} \cdot P_{ТР} = 3600 \cdot 100 \cdot 0{,}5 = 18000 \text{ кДж/ч;}$$

- при работе шахтных вентиляторов

$$Q_{ВБН} = 3{,}6 \cdot \alpha_В \cdot P \cdot l \frac{V^3}{\eta_{ВУ}} = 3{,}6 \cdot 0{,}0392 \cdot 22 \cdot 1200 \frac{2^3}{0{,}565} = 52751 \text{ кДж/ч;}$$

- при затвердевании монолитной бетонной крепи

$$Q_б = q_б \cdot P \cdot l_ц = 200 \cdot 22 \cdot 5 = 22000 \text{ кДж/ч;}$$

- при работе людей

$$Q_Л = q_л \cdot n_л = 2000 \cdot 7 = 14000 \text{ кДж/ч.}$$

5. Общее тепловыделение в ствол

$$Q_{общ} = \sum_{i-1}^{n} Q_i = Q_{охл} + Q_{сж} + Q_{ок} + Q_{эд} + Q_{лс} + Q_{тр} + Q_{вен} + Q_б + Q_л = 1077648 + 4078998 + 735441 + 303158 + 259200 + 18000 + 52751 + 22000 + 14000 = 6561196$$

кДж/ч.

Находим количество воздуха, необходимое для проветривания выработки по тепловому фактору без охлаждения воздуха

$$V_{теп} = \frac{Q_{общ}}{C_р \cdot \rho (t_{пб} - t_Н)} = \frac{6561196}{1{,}009 \cdot 1{,}25(24-8{,}5)} = 335611 \text{ м}^3\text{/ч.}$$

Проверяем условие достаточности расхода воздуха по тепловому фактору $V_{теп} \langle V_в$.

В рассматриваемом случае это условие не выполняется, так как

$$V_{теп} = 335611 < V_В = 277200$$

Следовательно, требуется искусственное охлаждение воздуха при помощи холодильных машин.

Определяем требуемую хладопроизводительность холодильной машины

$$N_к = \frac{C_р \cdot \rho \cdot V_В (t_П - t_{пб})}{3600} = \frac{1{,}009 \cdot 1{,}25 \cdot 277200(50-24)}{3600} = 2525 \text{ кВт.}$$

Принимаем $N_к$ = 2550 кВт. Температура смеси теплого и охлажденного воздуха за кондиционером составит

$$t_{см} = t_п - \frac{3600 \cdot N_k}{c_р \cdot \rho \cdot V_В} = 50 - \frac{3600 \cdot 2550}{1{,}009 \cdot 1{,}25 \cdot 277200} = 23{,}7$$

что удовлетворяет требованиям ПБ.

Варианты заданий

Перечень вариантов заданий к расчету тепловыделений в горные выработки приведен в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Исходные данные для расчетов тепловыделений

	Величины	Номер варианта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Выработка	Штрек		Уклон		Квершлаг		Бремберг		Ствол	
2	S, м^2	8	10	7	6	12	14	10	12	44,2	33,2
3	P, м	11,8	13,2	11,0	10,2	14,4	15,6	13,2	14,4	23,6	20,4
4	L, м	900	1000	300	500	700	600	1000	900	1100	1200
5	α, °	6	8	40	50	10	8	15	20	90	90
6	H, м	800	900	600	700	1000	800	1200	1500	1100	1200

Продолжение табл. 4.2

7	H_0, м	20	21	22	23	24	25	30	35	28	30
8	$\Gamma_{ст}$, м/°С	30	25	26	27	31	29	32	28	34	27
9	Порода	Бурый уголь	Каменный уголь	Каменный уголь	Каменный уголь	Песчаник	Песчаник	Каменный уголь	Каменный уголь	Глинистый и песчанистый сланец	Песчаник
10	V, м/с	0,5	0,75	1,0	1,5	1,0	2,0	1,5	2,0	1,0	0,5
11	τ, м/с	3	2	6	8	5	9	10	7	6	4
12	$t_н$, °С	8,5	2,5	3,0	2,5	7,5	8,3	7,9	4,2	8,0	7,5
13	$t_в = t_{пб}$, °С	24	23	20	25	23	25	24	26	24	23
14	$N_{потр}$, кВт	70	60	50	40	100	90	50	50	100	100
15	$N_л$, кВт	-	-	50	50	-	-	-	-	-	100

16	$N_{тр}$, кВт	5	10	-	-	5	5	5	5	10	10
17	$\alpha_в$, Па·с^2/м^2	0,017	0,019	0,018	0,016	0,015	0,014	0,013	0,020	0,049	0,049
18	$n_л$, чел.	7	6	3	3	6	5	6	6	5	8

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте климатические условия в горных выработках глубоких шахт.

2. Как осуществляется теплоотдача тела человека в окружающую среду?

3. Какой микроклимат в выработках глубоких шахт считается допустимым?

4. Перечислите виды (формы) нагревания воздуха, движущегося по горным выработкам.

5. Как выполняется тепловое кондиционирование воздуха в горных выработках?

РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4. ЦВЕТА СИГНАЛЬНЫЕ И ЗНАКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Цель работы – ривить практические навыки в применении сигнальных цветов и знаков безопасности; изучить назначение, характеристики и порядок применения сигнальных цветов и знаков безопасности.

Теоретические положения.

Для предупреждения многих несчастных случаев на производстве и в быту эффективным средством является цветовое оформление машин, приборов, помещений и рациональное применение сигнальных цветов и знаков безопасности, которые устанавливает ГОСТ Р 12.4.026–01 [1].

Различают прямое психологическое воздействие цвета на челове- ка, вызывающее, например, чувство радости или печали, создающее впе- чатление легкости или тяжести какого-либо предмета, удаленности или близости его, и вторичное воздействие, связанное с ассоциациями. Напри- мер, красный, оранжевый и желтый цвета ассоциируются с огнем, солн- цем, т. е. теплом. Такие цвета создают впечатление тепла и называются те- плыми цветами. Белый, голубой, зеленый и некоторые другие цвета ассо- циируются с холодом и называются холодными цветами.

Сигнальные цвета применяются для окраски поверхностей конст- рукций, приспособлений и элементов производственного оборудования, которые могут служить источником опасности для работающих.

ГОСТом установлены красный, желтый, зеленый и синий сигналь- ные цвета. Для усиления контраста сигнальных цветов они применяются на фоне контрастных цветов. Контрастные цвета применяются также для выполнения символов и поясняющих надписей.

Красный сигнальный цвет применяется: для запрещающих знаков; надписей и символов на знаках пожарной безопасности, обозначений от-

ключающих устройств механизмов и машин, в том числе аварийных; внутренних поверхностей открывающихся кожухов и корпусов, ограждающих движущиеся элементы механизмов и машин и их крышек; рукояток кранов аварийного сброса давления; корпусов масляных выключателей, находя- щихся в рабочем состоянии под напряжением, и обозначения пожарной техники.

Желтый сигнальный цвет используется: для предупреждающих знаков элементов строительных конструкций, которые могут явиться причиной получения травм (низкие балки, выступы и перепады в полости пола, малозаметные ступени, пандусы), мест, в которых существует опасность падения, сужений проездов, колонн, стоянок и опор производствен- ного оборудования (открытые движущиеся части оборудования); кромок штампов, прессов, ограждающих конструкций площадок для работ, проводимых на высоте, и т. п. элементов внутрицехового и межцехового транспорта, подъемно-транспортного оборудования и строительно-дорожных машин, кабин и ограждений кранов, боковых поверхностей электрокаров, погрузчиков, тележек и постоянных и временных ограждений или элементов ограждений, устанавливаемых на границах опасных зон, у проемов, ям, котлованов, выносных площадок, постоянных и временных ограждений лестниц, перекрытий строящихся зданий; балконов и других мест, где возможно падение с высоты, емкостей, содержащих вещества с опасными и вредными свойствами, на которые предупреждающую окраску наносят в виде полосы шириной 50–100 мм в зависимости от размещения емкости; границ подходов к эвакуационным или запасным выходам.

Зеленый сигнальный цвет применяется для предписывающих знаков дверей и светового табло эвакуационных или запасных выходов, сигнальных ламп.

Синий сигнальный цвет используется для указательных знаков. Символ на знаках безопасности – это простое, всем понятное изображение характера опасности, мер предосторожности, инструктивных указаний или информации

по безопасности. Знаки должны быть установлены в местах, пребывание в которых связано с возможной опасностью для работающих, а также на производственном оборудовании, являющемся источником такой опасности. Знаки безопасности, устанавливаемые на воротах и входных дверях помещений, обозначают, что зона их действия – все помещение. При необходимости ограничения зоны действия знака приводятся соответствующие указания с вышеуказанным ГОСТом. Они контрастно выделются на окружающем их фоне и находятся в поле зрения людей, для которых предназначены. На местах и участках, являющихся временно опасными, устанавливаются переносные знаки и временные ограждения, окрашенные в сигнальный цвет. Всего предусмотрено четыре группы знаков безопасности:

1 запрещающий (в виде круга);

2 предупреждающий (в виде треугольника);

3 предписывающий (в виде квадрата);

4 указательный (в виде вертикального прямоугольника).

Для более полного усвоения формы символов на знаках и мест их установки следует дополнительно изучить раздел 3 ГОСТ Р 12.4.026-01 [1]. Для этого ниже дается необходимая выдержка из данного ГОСТа.

Стандарт не распространяется:

- на цвета, применяемые для световой сигнализации всех видов транспорта, транспортных средств и дорожного движения;
- цвета, знаки и маркировочные щитки баллонов, трубопроводов, емкостей для хранения и транспортирования газов и жидкостей;
- дорожные знаки и разметку, путевые и сигнальные знаки железных дорог, знаки для обеспечения безопасности движения всех видов транспорта (кроме знаков безопасности для подъемно-транспортных меха- низмов, внутризаводского, пассажирского и общественного транспорта);
- знаки и маркировку опасных грузов, грузовых единиц, требующих специальных условий транспортирования и хранения;

- знаки для электротехники.

Назначение сигнальных цветов, знаков безопасности и сигнальной разметки состоит в обеспечении однозначного понимания определенных требований, касающихся безопасности, сохранения жизни и здоровья людей, снижения материального ущерба без применения слов или с их минимальным количеством.

Сигнальные цвета, знаки безопасности и сигнальную разметку следует применять для привлечения внимания людей, находящихся на производственных, общественных объектах и в иных местах, к опасности, опасной ситуации, предостережения в целях избегания опасности, сообщения о возможном исходе в случае пренебрежения опасностью, предписания или требования определенных действий, а также для сообщения необходимой информации.

Применение сигнальных цветов, знаков безопасности и сигнальной разметки на производственных, общественных объектах и в иных местах не заменяет необходимости проведения организационных и технических мероприятий по обеспечению условий безопасности, использования средств индивидуальной и коллективной защиты, обучения и инструктажа по технике безопасности.

Размещение (установку) знаков безопасности на оборудовании, машинах, механизмах должна проводить организация-изготовитель. При необходимости дополнительное размещение (установку) знаков безопасности на оборудовании, машинах, механизмах, находящихся в эксплуатации, проводит эксплуатирующая их организация.

Графические символы и поясняющие надписи на знаках безопасности отраслевого назначения, не предусмотренные настоящим стандартом, необходимо устанавливать в отраслевых стандартах, нормах, правилах с соблюдением требований настоящего стандарта.

Назначение и правила применения сигнальных цветов.

Стандарт устанавливает следующие сигнальные цвета: красный, желтый, зеленый, синий. Для усиления зрительного восприятия цветографических изображений знаков безопасности и сигнальной разметки сигнальные цвета следует применять в сочетании с контрастными цветами – белым или черным. Контрастные цвета необходимо использовать для выполнения графических символов и поясняющих надписей.

Сигнальные цвета необходимо применять:

- для обозначения поверхностей, конструкций (или элементов конструкций), приспособлений, узлов и элементов оборудования, машин, механизмов и т. п., которые могут служить источниками опасности для лю- дей, поверхности ограждений и других защитных устройств, систем бло- кировок и т. п.;
- обозначения пожарной техники, средств противопожарной защиты, их элементов;
- знаков безопасности, сигнальной разметки, планов эвакуации и других визуальных средств обеспечения безопасности;
- светящихся (световых) средств безопасности (сигнальные лампы, табло и др.);
- обозначения пути эвакуации.

Смысловое значение, область применения сигнальных цветов и соответствующие им контрастные цвета установлены в табл. 5.0.

Красный сигнальный цвет следует применять:

- для обозначения отключающих устройств механизмов и машин, в том числе аварийных;
- внутренних поверхностей крышек (дверец) шкафов с открытыми токоведущими элементами оборудования, машин, механизмов и т. п. (если оборудование, машины, механизмы имеют красный цвет, то внутренние поверхности крышек (дверец) должны быть окрашены лакокрасочными

материалами желтого сигнального цвета);

- рукояток кранов аварийного сброса давления;

- корпусов масляных выключателей, находящихся в рабочем состоянии под напряжением;

- обозначения различных видов пожарной техники, средств противопожарной защиты, их элементов, требующих оперативного опознания (пожарные машины, наземные части гидрант-колонок, огнетушители, баллоны, устройства ручного пуска систем (установок) пожарной автоматики, средств оповещения, телефоны прямой связи с пожарной охраной, насосы, пожарные стенды, бочки для воды, ящики для песка, а также ведра, лопа- ты, топоры и т. п.);

- окантовки пожарных щитов белого цвета для крепления пожарного инструмента и огнетушителей. Ширина окантовки – 30–100 мм (допускается выполнять окантовку пожарных щитов в виде чередующихся наклонных под углом 45–60° полос красного сигнального и белого контра- стного цветов);

- орнаментовки элементов строительных конструкций (стены, колонны) в виде отрезка горизонтально расположенной полосы для обозначения мест нахождения огнетушителя, установки пожаротушения с ручным пуском, кнопки пожарной сигнализации и т. п. Ширина полос – 150–300 мм. Полосы должны располагаться в верхней части стен и колонн на высоте, удобной для зрительного восприятия с рабочих мест, проходов и т. п. В состав орнаментовки, как правило, следует включать знак пожарной безопасности с соответствующим графическим символом средства противопожарной защиты;

- сигнальных ламп и табло с информацией, извещающей о нару- шении технологического процесса или нарушении условий безопасности:

«Тревога», «Неисправность» и др.;

- обозначения захватных устройств промышленных установок и промышленных роботов;

Таблица 5.0

Смысловое значение, область применения сигнальных цветов и соответствующие им контрастные цвета

Сигнальный цвет	Смысловое значение	Область применения	Контрастный цвет
Красный	Непосредственная опасность Аварийная или опасная ситуация Пожарная техника, средства противо-пож. защиты, их элементы	Запрещение опасного поведения или действия.Обозначение непо-средственной опасности Сообщение об аварийном отключении или аварийном состоянии оборудования (техноло- гического процесса) Обозначение и определение мест нахождения пожарной техники, средств противопожарной защиты, их элементов	Белый
Желтый	Возможная опас-ность	Обозначение возможной опасно- сти, опасной ситуации. Преду- преждение о возможной опасно-сти	Черный
Зеленый	Безопасность, безопасные усло-вия	Сообщение о нормальной работе оборудования, нормальном со- стоянии технологического про-цесса	Белый
	Помощь, спасение	Обозначение пути эвакуации, аптечек, кабинетов, средств по оказанию первой медицинской помощи	
Синий	Предписание во избежание опасно-сти	Требование обязательных дейст- вий в целях обеспечения безо-пасности	Белый
	Указание	Разрешение определенных дей-ствий	

- обозначения временных ограждений или элементов временных ограждений, устанавливаемых на границах опасных зон, участков, территорий, ям, котлованов, временных ограждений мест химического, бактериологического и радиационного загрязнения, а также ограждений других мест, зон, участков, вход на которые временно запрещен.

Поверхность временных ограждений должна быть целиком окра- шена красным сигнальным цветом или иметь чередующиеся наклонные под углом 45–60° полосы красного сигнального и белого контрастного цветов. Ширина полос – 20–300 мм при соотношении ширины полос крас- ного и белого цветов от 1:1 до 1,5:1,0;

- запрещающих знаков безопасности и знаков пожарной безопасности.

Не допускается использовать красный сигнальный цвет:

- для обозначения стационарно устанавливаемых средств противопожарной защиты (их элементов), не требующих оперативного опознания (пожарные извещатели, пожарные трубопроводы, оросители установок пожаротушения и т. п.);

- на пути эвакуации во избежание путаницы и замешательства (кроме запрещающих знаков безопасности и знаков пожарной безопасности).

Желтый сигнальный цвет следует применять:

а) для обозначения элементов строительных и иных конструкций, которые могут явиться причиной получения травм работающими: низких балок, выступов и перепадов в плоскости пола, малозаметных ступеней, пандусов, мест, в которых существует опасность падения (кромки погрузочных платформ, грузовых поддонов, неогражденных площадок, люков, проемов и т. д.), сужений проездов, малозаметных распорок, узлов, колонн, стоек и опор в местах интенсивного движения внутризаводского транспорта и т. д.;

б) обозначения узлов и элементов оборудования, машин и механизмов, неосторожное обращение с которыми представляет опасность для людей:

открытых движущихся узлов, кромок оградительных устройств, не полностью закрывающих движущиеся элементы (шлифовальные круги, фрезы, зубчатые колеса, приводные ремни, цепи и т. п.), ограждающих конструкций площадок для работ, проводимых на высоте, а также постоянно подвешенных к потолку или стенам технологической арматуры и механизмов, выступающих в рабочее пространство;

в) обозначения опасных при эксплуатации элементов транспортных средств, подъемно-транспортного оборудования и строительно-дорожных машин, площадок грузоподъемников, бамперов и боковых поверхностей электрокаров, погрузчиков, тележек, поворотных платформ и боковых поверхностей стрел экскаваторов, захватов и площадок автопогрузчиков, рабочих органов сельскохозяйственных машин, элементов грузоподъемных кранов, обойм грузовых крюков и др.;

г) подвижных монтажных устройств, их элементов и элементов грузозахватных приспособлений, подвижных частей кантователей, траверс, подъемников, подвижных частей монтажных вышек и лестниц;

д) внутренних поверхностей крышек, дверец, кожухов и других ограждений, закрывающих места расположения движущихся узлов и элементов оборудования, машин, механизмов, требующих периодического доступа для контроля, ремонта, регулировки и т. п.

Если указанные узлы и элементы закрыты съемными ограждениями, то окрашиванию лакокрасочными материалами желтого сигнального цвета подлежат сами движущиеся узлы, элементы и (или) поверхности смежных с ними неподвижных деталей, закрываемые ограждениями;

е) постоянных ограждений или элементов ограждений, устанавливаемых на границах опасных зон, участков, территорий: у проемов, ям, котлованов, выносных площадок, постоянных ограждений лестниц, балконов, перекрытий и других мест, в которых возможно падение с высоты.

Поверхность ограждения должна быть целиком окрашена

лакокрасочными материалами желтого сигнального цвета или иметь чередующиеся наклонные под углом 45–60° полосы желтого сигнального и черного контрастного цветов.

Ширина полос – 20–300 мм при соотношении ширины полос желтого и черного цвета от 1:1 до 1,5:1,0;

ж) обозначения емкостей и технологического оборудования, содержащих опасные или вредные вещества.

Поверхность емкости должна быть целиком окрашена лакокрасочными материалами желтого сигнального цвета или иметь чередующиеся наклонные под углом 45–60° полосы желтого сигнального и черного контрастного цветов.

Ширина полос – 50–300 мм в зависимости от размера емкости при соотношении ширины полос желтого и черного цвета от 1:1 до 1,5:1,0;

з) обозначения площадей, которые должны быть всегда свободными на случай эвакуации (площадки у эвакуационных выходов и подходы к ним, возле мест подачи пожарной тревоги, возле мест подхода к средствам противопожарной защиты, средствам оповещения, пунктам оказания первой медицинской помощи, пожарным лестницам и др.).

Границы этих площадей должны быть обозначены сплошными линиями желтого сигнального цвета, а сами площади – чередующимися наклонными под углом 45–60° полосами желтого сигнального и черного контрастного цветов. Ширина линий и полос – 50 – 100 мм;

и) предупреждающих знаков безопасности.

На поверхность объектов и элементов, перечисленных в а) и в), допускается наносить чередующиеся наклонные под углом 45–60° полосы желтого сигнального и черного контрастного цветов. Ширина полос – 50– 300 мм в зависимости от размера объекта и расстояния, с которого должно быть видно предупреждение.

Если оборудование, машины и механизмы окрашены лакокрасочными материалами желтого сигнального цвета, то перечисления б) и д), их узлы и

элементы должны быть обозначены чередующимися наклонными под углом 45–60° полосами желтого сигнального и черного контрастного цветов. Ширина полос – 20–300 мм в зависимости от размера узла (элемента) оборудования при соотношении ширины полос желтого и черного цветов от 1:1 до 1,5:1,0.

Для строительно-дорожных машин и подъемно-транспортного оборудования, которые могут находиться на проезжей части, допускается применять предупреждающую окраску в виде чередующихся красных и белых полос.

Синий сигнальный цвет следует применять:

- для окрашивания светящихся (световых) сигнальных индикаторов и других сигнальных устройств указательного или разрешающего назначения;
- предписывающих и указательных знаков безопасности.

Зеленый сигнальный цвет следует применять:

- для обозначения безопасности (безопасных мест, зон безопасного состояния);
- сигнальных ламп, извещающих о нормальном режиме работы оборудования, нормальном состоянии технологических процессов и т. п.;
- обозначения пути эвакуации;
- эвакуационных знаков безопасности и знаков безопасности медицинского и санитарного назначения.

Характеристики сигнальных и контрастных цветов.

Знаки безопасности следует размещать (устанавливать) в поле зрения людей, для которых они предназначены.

Знаки безопасности должны быть расположены таким образом, чтобы они были хорошо видны, не отвлекали внимания и не создавали неудобств при выполнении людьми своей профессиональной или иной деятельности, не загораживали проход, проезд, не препятствовали перемещению грузов.

Знаки безопасности, размещенные на воротах и на (над) входных(ми) дверях(ми) помещений, означают, что зона действия этих знаков

распространяется на всю территорию и площадь за воротами и дверями.

Размещение знаков безопасности на воротах и дверях следует выполнять таким образом, чтобы зрительное восприятие знака не зависело от положения ворот или дверей (открыто, закрыто). Эвакуационные знаки безопасности Е 22 «Выход» и Е 23 «Запасный выход» должны размещаться только над дверями, ведущими к выходу.

Знаки безопасности, установленные у въезда (входа) на объект (участок), означают, что их действие распространяется на объект (участок) в целом.

При необходимости ограничить зону действия знака безопасности соответствующее указание следует приводить в поясняющей надписи на дополнительном знаке.

Знаки безопасности, изготовленные на основе несветящихся материалов, следует применять в условиях хорошего и достаточного освеще- ния.

Знаки безопасности с внешним или внутренним освещением следует применять в условиях отсутствия или недостаточного освещения.

Световозвращающие знаки безопасности следует размещать (устанавливать) в местах, где отсутствует освещение или имеется низкий уровень фонового освещения (менее 20 лк по СНиП 23-05-95): при проведении работ с использованием индивидуальных источников света, фонарей (например, в туннелях, шахтах и т. п.), а также для обеспечения безопасности при проведении работ на дорогах, автомобильных трассах, в аэропортах и т. п.

Фотолюминесцентные знаки безопасности следует применять там, где возможно аварийное отключение источников света, а также в качестве элементов фотолюминесцентных эвакуационных систем для обеспечения самостоятельного выхода людей из опасных зон в случае возникновения аварий, пожара или других чрезвычайных ситуаций.

Для возбуждения фотолюминесцентного свечения знаков безопасности необходимо наличие в помещении, где они установлены, искусст- венного или естественного освещения.

Освещенность поверхности фотолюминесцентных знаков безопасности источниками света должна быть не менее 25 лк.

Основные и дополнительные знаки безопасности.

Основные знаки безопасности необходимо разделять на следующие группы: запрещающие знаки; предупреждающие знаки; знаки пожарной безопасности; предписывающие знаки; эвакуационные знаки и знаки медицинского и санитарного назначения; указательные знаки.

Геометрическая форма, сигнальный цвет, смысловое значение основных знаков безопасности должны соответствовать приведенным в табл. 5.1

Таблица 5.1

Геометрическая форма, сигнальный цвет, смысловое значение основных знаков безопасности

Группа	Геометрическая форма <*>	Сигнальный цвет	Смысловое значение
Запрещающие знаки	Круг с поперечной полосой	Красный	Запрещение опасного пове- дения или действия
Предупреждающие знаки	Треугольник	Желтый	Предупреждение о возмож- ной опасности. Осторож- ность. Внимание
Предписывающие знаки	Круг	Синий	Предписание обязательных действий во избежание опасности
Знаки пожарной безопасности <**>	Квадрат или прямоугольник	Красный	Обозначение и указание мест нахождения средств проти- вопожарной защиты, их эле- ментов
Эвакуационные знаки и знаки медицинского и санитарного назначения	Квадрат или прямоугольник	Зеленый	Обозначение направления движения при эвакуации. Спасение, первая помощь при авариях или пожарах. Надпись, информация для обеспечения безопасности
Указательные знаки	Квадрат или прямоугольник	Синий	Разрешение. Указание. Над- пись или информация

Примечание: <*> Рисунки не приводятся. <**> К знакам пожарной безопасности относят также:

- запрещающие знаки: P 01 «Запрещается курить», P 02 «Запрещается пользо- ваться открытым огнем», P 04 «Запрещается тушить водой», P 12 «Запрещается загромождать проходы (или) складировать» (табл. 5.2);

- предупреждающие знаки: W 01 «Пожароопасно. Легковоспламеняющиеся ве- щества», W 02 «Взрывоопасно», W 11

«Пожароопасно. Окислитель» (табл. 5.3).

Таблица 5.2

Запрещающие знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Р 01		Запрещается курить	Использовать, когда курение мо- жет стать причиной пожара. На дверях и стенах помещений, уча- стках, где имеются горючие и лег- ковоспламеняющиеся вещества, или в помещениях, где курить за- прещается
Р 02		Запрещается пользоваться от- крытым огнем и курить	Использовать, когда открытый огонь и курение могут стать при- чиной пожара. На входных дверях, стенах помещений, участках, ра- бочих местах, емкостях, производ- ственной таре
Р 03		Проход запрещен	У входа в опасные зоны, помеще- ния, участки и др.
Р 04		Запрещается тушить водой	В местах расположения электро- оборудования, складах и других местах, где нельзя применять воду при тушении горения или пожара
Р 05		Запрещается использовать в качестве питьевой воды	На техническом водопроводе и емкостях с технической водой, не- пригодной для питья и бытовых нужд
Р 06		Доступ посторонним запрещен	На дверях помещений, у входа на объекты, участки и т. п. для обо- значения запрета на вход (проход) в опасные зоны или для обозначе- ния служебного входа (прохода)

Продолжение таблицы 5.2

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Р 07		Запрещается движение средств наполь- ного транспорта	В местах, где запрещается применять средства напольного транс- порта (например, погрузчики или напольные транспортеры)
Р 08		Запрещается прикасаться. Опасно	На оборудовании (узлах оборудо- вания), дверцах, щитах или других поверхностях, прикосновение к которым опасно
Р 09		Запрещается прикасаться. Корпус под на- пряжением	На поверхности корпусов, щитов и т. п., где есть возможность пора- жения электрическим током
Р 10		Не включать!	На пультах управления и включе- ния оборудования или механизмов при ремонтных и пусконаладоч- ных работах
Р 11		Запрещается работа (присутствие) людей со стимуляторами сердечной деятельности	В местах и на оборудовании, где запрещено работать или находить- ся людям с вживленными стиму- ляторами сердечной деятельности
Р 12		Запрещается за- громождать про- ходы и (или) складировать	На пути эвакуации, у выходов, в местах размещения средств про- тивопожарной защиты, аптечек первой медицинской помощи и других местах
Р 13		Запрещается подъем (спуск) людей по шахтному стволу (запрещается транспортировка пассажиров)	На дверях грузовых лифтов и дру- гих подъемных механизмов

Продолжение табл. 5.2

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Р 14		Запрещается вход (проход) с животными	На воротах и дверях зданий, со- оружений, помещений, объектов, территорий и т. п., где не должны находиться животные, где запре- щен вход (проход) вместе с жи- вотными
Р 16		Запрещается работа (присутствие) людей, имеющих металлические имплантанты	На местах, участках и оборудова- нии, где запрещено работать или находиться людям с вживленными металлическими имплантантами
Р 17		Запрещается разбрызгивать воду	На местах и участках, где запре- щено разбрызгивать воду
Р 18		Запрещается пользоваться мобильным (сотовым) телефоном или переносной рацией	На дверях помещений, у входа на объекты, где запрещено пользоваться средствами связи, имею- щими собственные радиочастот- ные электромагнитные поля
Р 21		Запрещение (прочие опасности или опасные действия)	Применять для обозначения опасности, не предусмотренной настоящим стандартом. Знак необходимо использовать вместе с поясняющей надписью или с дополнительным знаком безопасности с поясняющей надписью
Р 27		Запрещается иметь при (на) себе металлические предметы (часы и т. п.)	При входе на объекты, на рабочих местах, оборудовании, приборах и т. п. Область применения знака может быть расширена
Р 30		Запрещается принимать пищу	На местах и участках работ с вредными для здоровья веществами, а также в местах, где прием пищи запрещен. Область применения знака может быть расшире- на

Окончание табл. 5.2

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Р 32		Запрещается подходить к элементам оборудования с маховыми движениями большой амплитуды	На оборудовании и рабочих местах по обслуживанию оборудования с элементами, выполняющими маховые движения большой амплитуды
Р 33		Запрещается брать руками. Сыпучая масса (непрочная упа- ковка)	На производственной таре, в складах и иных местах, где используют сыпучие материалы
Р 34		Запрещается пользоваться лифтом для подъема (спуска) людей	На дверях грузовых лифтов и других подъемных механизмах. Знак входит в состав группового знака безопасности «При пожаре лифтом не пользоваться, выходить по лестнице»

Таблица 5.3

Предупреждающие знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 01		Пожароопасно. Легковоспламеняющиеся ве- щества	Использовать для привлечения внимания к помещениям с легковоспламеняющимися веществами. На входных дверях, дверцах шкафов, емкостях и т. д.

Продолжение табл.5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 02		Взрывоопасно	Использовать для привлечения внимания к взрыво- опасным веществам, а так- же к помещениям и участ- кам. На входных дверях, стенах помещений, дверцах шкафов и т. д.
W 03		Опасно. Ядовитые ве- щества	В местах хранения, выделения, производства и применения ядовитых веществ
W 04		Опасно. Едкие и корро- зионные вещества	В местах хранения, выде- ления, производства и применения едких и корро- зионных веществ
W 05		Опасно. Радиоактивные вещества или ионизи- рующее излучение	На дверях помещений, дверцах шкафов и в других местах, где находятся и применяются радиоактивные вещества или имеется ионизирующее излучение. Допускается применять знак радиационной опасно- сти по ГОСТ 17925
W 06		Опасно. Возможно падение груза	Вблизи опасных зон, где используется подъемно-транспортное оборудование
W 07		Внимание. Автопогруз- чик	В помещениях и на участках, где проводятся погрузочно-разгрузочные работы

Продолжение табл. 5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 08		Опасность поражения электрическим током	На опорах линий электропередачи, электрооборудовании и приборах, дверцах силовых щитков, на элек-тротехнических панелях и шкафах, а также на ограж- дениях токоведущих частей оборудования, механизмов, приборов
W 09		Внимание. Опасность (прочие опасности)	Применять для привлече- ния внимания к прочим ви- дам опасности, не обозна- ченной настоящим стан- дартом. Знак необходимо использовать вместе с дополнительным знаком безопасности с поясняю- щей надписью
W 10		Опасно. Лазерное излу- чение	На дверях помещений, оборудовании, приборах и в других местах, где имеет- ся лазерное излучение
W 11		Пожароопасно. Окисли- тель	На дверях помещений, дверцах шкафов для привлечения внимания на наличие окислителя

Продолжение табл. 5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 12		Внимание. Электромагнитное поле	На дверях помещений, оборудовании, приборах и в других местах, где действуют электромагнитные поля
W 13		Внимание. Магнитное поле	На дверях помещений, оборудовании, приборах и в других местах, где действуют магнитные поля
W 14		Осторожно. Малозаметное препятствие	В местах, где имеются малозаметные препятствия, о которые можно споткнуться
W 15		Осторожно. Возможность падения с высоты	Перед входом на опасные участки и в местах, где возможно падение с высоты
W 16		Осторожно. Биологическая опасность (инфекционные вещества)	В местах хранения, производства или применения вредных для здоровья биологических веществ
W 17		Осторожно. Холод	На дверцах холодильников и морозильных камер, компрессорных агрегатах и других холодильных аппаратах
W 18		Осторожно. Вредные для здоровья аллергические (раздражающие) вещества	В местах хранения, произ- водства или применения вредных для здоровья аллергических (раздражающих) веществ

Продолжение табл. 5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 19		Газовый баллон	На газовых баллонах, скла- дах и участках хранения и применения сжатых или сжиженных газов. Цвет баллона черный или белый, выбирается по ГОСТ 19433
W 20		Осторожно. Аккумуля- торные батареи	В помещениях и на участках изготовления, хранения и применения аккумуля- торных батарей
W 22		Осторожно. Режущие валы	На участках работ и оборудовании, имеющем незащищенные режущие валы
W 23		Внимание. Опасность зажима	На дверцах турникетов и шлагбаумах
W 24		Осторожно. Возможно опрокидывание	На дорогах, рампах, складах, участках, где возможно опрокидывание внутризаводского транспорта
W 25		Внимание. Автоматическое включение (запуск) оборудования	На рабочих местах, оборудовании или отдельных узлах оборудования с автоматическим включением
W 26		Осторожно. Горячая поверхность	На рабочих местах и обо-рудовании, имеющем на-гретые поверхности

Окончание табл.5.3

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
W 27		Осторожно. Возможно травмирование рук	На оборудовании, узлах оборудования, крышках и дверцах, где возможно получить травму рук
W 28		Осторожно. Скользко	На территории и участках, где имеются скользкие места
29		Осторожно. Возможно затягивание между вращающимися элемен- тами	На рабочих местах и обо- рудовании, имеющем вра- щающиеся элементы, на- пример на валковых мель- ницах
W 30		Осторожно. Сужение проезда (прохода)	На территориях, участках, в цехах и складах, где имеются сужения прохода (проезда) или присутствуют выступающие конструкции, затрудняющие проход (проезд)

Таблица 5.4

Предписывающие знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по при- менению
M 01		Работать в защитных очках	На рабочих местах и участках, где требуется защита органов зрения

Продолжение табл. 5.4

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
М 02		Работать в защитной каске (шлеме)	На рабочих местах и участках, где требуется защита головы
М 03		Работать в защитных наушниках	На рабочих местах и участках с повышенным уровнем шума
М 04		Работать в средствах индивидуальной защиты органов дыхания	На рабочих местах и участках, где требуется защита органов дыхания
М 05		Работать в защитной обуви	На рабочих местах и участках, где необходимо применять средства индивидуальной защиты
М 06		Работать в защитных перчатках	На рабочих местах и участках работ, где требуется защита рук от воздействия вредных или агрессивных сред, защита от возможного поражения электрическим током
М07		Работать в защитной одежде	На рабочих местах и участках, где необходимо применять средства индивидуальной зашиты
М 08		Работать в защитном щитке	На рабочих местах и участках, где необходима защита лица и органов зрения

Продолжение табл. 5.4

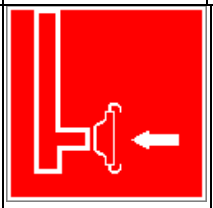
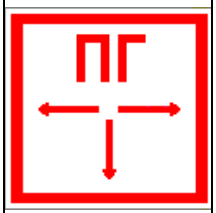
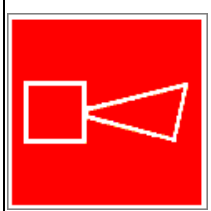
Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
М 09		Работать в предохранительном (страховочном) поясе	На рабочих местах и участках, где для безопасной работы требуется применение предохранительных (страховочных) поясов
М 10		Проход здесь	На территориях и участках, где разрешается проход
М 11		Общий предписывающий знак (прочие предписания)	Для предписаний, не обозначенных настоящим стандартом. Знак необходимо применять вместе с поясняющей надписью на дополнительном знаке безопасности
М 12		Переходить по надземному переходу	На участках и территориях, где установлены надземные переходы
М 13		Отключить штепсельную вилку	На рабочих местах и оборудовании, где требуется отключение от электросети при наладке или остановке электрооборудования и в других случаях
М 14		Отключить перед работой	На рабочих местах и оборудовании при проведении ремонтных или пусконаладочных работ
М 15		Курить здесь	Используется для обозначения места курения на производственных объектах

Таблица 5.5

Знаки пожарной безопасности

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установ- ки) и рекомендации по применению
F 01-01		Направляющая стрелка	Использовать только вместе с другими знаками пожар- ной безопасности для указания направления движе- ния к месту нахождения (размещения) средства противопожарной зашиты
F 01-02		Направляющая стрелка под углом 45°	Использовать только вместе с другими знаками пожарной безопасности для указания направления движения к месту нахождения (размещения) средства противопожарной защиты
F 02		Пожарный кран	В местах нахождения комплекта пожарного крана с пожарным рукавом и стволом
F 03		Пожарная лестница	В местах нахождения пожарной лестницы
F 04		Огнетушитель	В местах размещения огнетушителя
F 05		Телефон для использования при пожаре	В местах размещения телефона, по которому мож- но вызвать пожарную охрану

Продолжение табл. 5.5

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установ- ки) и рекомендации по применению
F 06		Место размещения нескольких средств противопожарной защиты	В местах одновременного нахождения (размещения) нескольких средств противопожарной защиты
F 07		Пожарный водоисточник	В местах нахождения пожарного водоема или пир- са для пожарных машин
F 08		Пожарный сухотрубный стояк	В местах нахождения пожарного сухотрубного стояка
F 09		Пожарный гидрант	У мест нахождения подземных пожарных гидран- тов. На знаке должны быть цифры, обозначающие расстояние от знака до гидранта в метрах
F 10		Кнопка включения установок (систем) пожарной автоматики	В местах ручного пуска установок пожарной сигна- лизации, пожаротушения и (или) систем противодым- ной защиты. В местах (пунктах) подачи сигнала пожарной тревоги
F 11		Звуковой оповещатель пожарной тревоги	В местах нахождения зву- кового оповещателя или совместно со знаком F 10 «Кнопка включения установок (систем) пожарной автоматики»

К знакам пожарной безопасности относят также:

- запрещающие знаки: Р 01 «Запрещается курить», Р 02 «Запрещается пользоваться открытым огнем», Р 04 «Запрещается тушить водой», Р 12 «Запрещается загромождать проходы и (или) складировать»;
- предупреждающие знаки: W 01 «Пожароопасно. Легковоспламеняющиеся вещества», W 02 «Взрывоопасно», W 11 «Пожароопасно. Окислитель»;
- эвакуационные знаки;

Таблица 5.6

Эвакуационные знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Е 01-01		Выход здесь (левосторонний)	Над дверями (или на дверях) эвакуационных выходов, открывающихся с левой стороны. На стенах помещений вместе с направляющей стрелкой для указания направления движения к эвакуа- ционному выходу
Е 01-02		Выход здесь (правосторонний)	Над дверями (или на дверях) эвакуационных выходов, открывающихся с правой стороны. На стенах помещений вместе с направляющей стрелкой для указания направления движения к эвакуационному выходу
Е 02-01		Направляющая стрелка	Использовать только вместе с другими эвакуационными знаками для указания направления движения

Продолжение табл.5.6

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Е 02-02		Направляющая стрелка под углом 45°	Использовать только вместе с другими эвакуационными знаками для указания направления движения
Е 03		Направление к эвакуационному выходу на- право	На стенах помещений для указаниянаправления движения к эвакуационному выходу
Е 04		Направление к эвакуационному выходу налево	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу
Е 05		Направление к эвакуационному выходу направо вверх	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу по наклонной плоскости
Е 06		Направление к эвакуационному выходу нале- во вверх	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу по наклонной плос- кости
Е 07		Направление к эвакуационному выходу на- право вниз	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу по наклонной плоскости
Е 08		Направление к эвакуационному выходу налево вниз	На стенах помещений для указания направления движения к эвакуационному выходу по наклонной плоскости
Е 09		Указатель двери эвакуа- ционного выхода	Над дверями эвакуацион- ных выходов

Продолжение табл. 5.6.

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Е 10		Указатель двери эвакуационного выхода (левосторонний)	Над дверями эвакуационных выходов
Е 11		Направление к эвакуационному выходу прямо	Над проходами, проемами, в помещениях большой площади. Размещается на верхнем уровне или под- вешивается к потолку
Е 12		Направление к эвакуационному выходу прямо	Над проходами, проемами, в помещениях большой площади. Размещается на верхнем уровне или подвешивается к потолку
Е 13		Направление к эвакуационному выходу по лестнице вниз	На лестничных площадках и стенах, прилегающих к лестничному маршу
Е 14		Направление к эвакуационному выходу по лестнице вниз	На лестничных площадках и стенах, прилегающих к лестничному маршу
Е 15		Направление к эвакуационному выходу по лестнице вверх	На лестничных площадках и стенах, прилегающих к лестничному маршу
Е 16		Направление к эвакуационному выходу по лестнице вверх	На лестничных площадках и стенах, прилегающих к лестничному маршу
Е 17		Для доступа вскрыть здесь	На дверях, стенах помеще- ний и в других местах, где для доступа в помещение или выхода необходимо вскрыть определенную кон- струкцию, например раз- бить стеклянную панель

Продолжение табл. 5.6.

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по применению
Е 18		Открывать движением от себя	На дверях помещений для указания направления от- крывания дверей
Е 19		Открывать движением на себя	На дверях помещений для указания направления от- крывания дверей
Е 20		Для открывания сдви- нуть	На дверях помещений для обозначения действий по открыванию сдвижных две- рей
Е 21		Пункт (место) сбора	На дверях, стенах помеще- ний и в других местах для обозначения заранее преду- смотренных пунктов (мест) сбора людей в случае воз- никновения пожара, аварии или другой чрезвычайной ситуации
Е 22		Указатель выхода	Над дверями эвакуацион- ного выхода или в составе комбинированных знаков безопасности для указания направления движения к эвакуационному выходу
Е 23		Указатель запасного выхода	Над дверями запасного выхода

Эвакуационные знаки следует устанавливать в положениях, соответствующих направлению движения к эвакуационному выходу.

Изображение графического символа фигуры человека в дверном проеме на эвакуационных знаках Е 01-01 и Е 01-02 смыслового значения

«Выход здесь» должно совпадать с направлением движения к эвакуационному выходу».

Таблица 5.7

Знаки медицинского и санитарного назначения

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установ- ки) и рекомендации по при-менению
ЕС 01		Аптечка первой медицинской помощи	На стенах, дверях помещений для обозначения мест размещения аптечек первой медицинской помощи
ЕС 02		Средства выноса (эвакуации) пораженных	На дверях и стенах помещений в местах размеще- ния средств выноса (эва- куации) пораженных
ЕС 03		Пункт приема гигиенических процедур (душевые)	На дверях и стенах помещений в местах расположения душевых и т. п.
ЕС 04		Пункт обработки глаз	На дверях и стенах поме- щений в местах располо- жения пункта обработки глаз
ЕС 05		Медицинский кабинет	На дверях медицинских кабинетов
ЕС 06		Телефон связи с медицинским пунктом (скорой медицинской помощью)	В местах установки телефонов

Таблица 5.8.

Указательные знаки

Код знака	Цветографическое изображение	Смысловое значение	Место размещения (установки) и рекомендации по при- менению
D 01		Пункт(место) приема пищи	На дверях комнат приема пищи, буфетах, столовых, бытовых помещениях и в других местах, где разре- шается прием пиши
D 02		Питьевая вода	На дверях бытовых помещений и в местах распо- ложения кранов с водой, пригодной для питья и бы- товых нужд (туалеты, душевые, пункты приема пищи и т. д.)
D 03		Место курения	Используется для обозначения места курения на общественных объектах

Порядок выполнения работы

1. Изучить выдержку из ГОСТ Р 12.4.026–01.

2. Проверить усвоение материала, ответив на контрольные вопросы:

В какой цвет окрашено поле предупреждающего знака?

Какой размер имеет сторона треугольника предупреждающего знака № 4, наносимого на тару и оборудование?

Какой цвет имеет символическое изображение на запрещающем знаке?

Какую форму имеет предписывающий знак?

Какую форму имеет запрещающий знак?

Расстояние от наблюдателя до знака составляет 45 м. Какой размер должен иметь внешний диаметр круга запрещающего знака, мм?

Какой цвет имеют символические изображения или поясняю- щие надписи, наносимые на указательные знаки?

Расстояние от наблюдателя до знака составляет 60 м. Какие размеры